

**UNIVERSIDAD CATOLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO  
TESIS FINAL**

Previa a la obtención del grado de

**MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**

“DISEÑO DE UNA RED FTTH PARA LA RENOVACIÓN DE LOS SERVICIOS DE  
LAS OPERADORAS TELEFÓNICAS DE GUAYAQUIL”

Elaborado por:

Ing. Cristian Rudich Rodríguez Zambrano.

Tutor:

Dr. SC. Arturo Luis Infantes Rielo

Guayaquil, 29 de Noviembre 2012.



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TÍTULO DE LA TESIS:

“...DISEÑO DE UNA RED FTTH PARA LA RENOVACIÓN DE LOS SERVICIOS DE  
LAS OPERADORAS TELEFÓNICAS DE GUAYAQUIL...”

Previa la obtención del Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones

ELABORADO POR:

Ing. Cristian Rudich Rodríguez Zambrano

Guayaquil, a los 29 días del mes Noviembre del año 2012



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

## SISTEMA DE POSGRADO

### CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Magíster Cristian Rudich Rodríguez Zambrano como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones.

Guayaquil, a los 29 días del mes Noviembre del año 2012

#### DIRECTOR DE TESIS

---

Nombre: Dr. SC. Arturo Luis Infantes Rielo

#### REVISORES:

---

Nombre: NESTOR ARMANDO ZAMBRANO

---

Nombre : EDWIN FERNANDO PALACIOS MELENDEZ

#### DIRECTOR DEL PROGRAMA

---

MsC. Manuel Romero Paz



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

## SISTEMA DE POSGRADO

### DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO, Cristian Rudich Rodríguez Zambrano

#### DECLARO QUE:

La tesis "DISEÑO DE UNA RED FTTH PARA LA RENOVACIÓN DE LOS SERVICIOS DE LAS OPERADORAS TELEFÓNICAS DE GUAYAQUIL", previa a la obtención del grado Académico de Magíster, ha sido desarrollada en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis del Grado Académico en mención.

Guayaquil, a los 29 días del mes Noviembre del año 2012

EL AUTOR

---

(Cristian Rudich Rodríguez Zambrano)



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

## AUTORIZACIÓN

YO, Cristian Rudich Rodríguez Zambrano

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución de la Tesis de Maestría titulada: “DISEÑO DE UNA RED FTTH PARA LA RENOVACIÓN DE LOS SERVICIOS DE LAS OPERADORAS TELEFÓNICAS DE GUAYAQUIL”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 29 días del mes Noviembre del año 2012

EL AUTOR

---

(Cristian Rudich Rodríguez Zambrano)

## AGRADECIMIENTO

### **A Dios**

*En primer lugar, por haberme permitido llegar hasta este punto. Por su bondad y amor para lograr mis objetivos.*

### **A mis maestros.**

*Dr.Cs.Arturo Infantes Rielo profesor guía de tesis. Ing. Manuel Romero por su apoyo y motivación para la culminación del proyecto. A todos que intervinieron y contribuyeron directa o indirectamente en la formación profesional. Resumir el agradecimiento es difícil pero espero que todos los profesionales se vean reflejados.*

### **A mis familiares.**

*Quienes tienen un espacio en este agradecimiento, ya que ellos están pendiente de todo lo que sucede, y son también fuente de energía cuando la necesitas. A ellos gracias por su apoyo.*

*Cristian Rudich Rodríguez Zambrano*

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis familiares. A Dios porque ha estado conmigo en cada paso que doy, en quien he creído y me da fortaleza para continuar, a mis padres que han velado por alcanzar mis objetivos siendo mi apoyo en todo momento.

Cristian Rudich Rodríguez Zambrano

ÍNDICE .....	i
1. Introducción.....	1
1.1. Definición del problema .....	1
1.2 <i>Objetivos</i> .....	2
1.2.1. Objetivo General: .....	2
1.2.1. Objetivos específicos.....	2
1.3 <i>Hipótesis</i> .....	2

## CAPÍTULO 1 Fundamentos Teóricos y Técnicos de la Tecnología FTTX

1.1 Evolución de las Telecomunicaciones.....	3
1.1.1 Solución con par de cobre.....	4
1.1.2 Solución con cable coaxial.....	8
1.2 Sistema FTTH .....	10
1.2.1. Introducción a las redes FTTx.....	10
1.2.1.1 Fibra para la oficina FTTO.....	12
1.2.2 Arquitectura general de una red FTTH.....	13
1.2.2.1 Configuración punto a punto. (El más sencillo) .....	14
1.2.2.2 Configuración punto a multipunto.....	15
1.3 Funcionamiento de una red PON.....	17
1.3.1 El OLT .....	17
1.3.2 El ONT.....	19
1.3.2.1 VPON .....	21
1.3.3 El divisor óptico ( splitter) .....	22
1.4 Descripción del funcionamiento de una red de transmisión PON.....	23
1.5 Estándares de redes PON.....	30
1.5.1 Recomendación UIT-T G.983.1.....	31
1.5.2 Recomendación UIT-T G.983.1.....	31
1.5.3 Estándar EPON: IEEE 802.3ah.....	33
1.6 Diagrama de ojo.....	34
1.6.1. Diagrama de ojo ideal.....	35
1.6.2 Sistema de transmisión en GPON.....	38
1.7 Servicios ofrecidos por la red FTTH.....	39
1.7.1 Servicios de voz .....	40
1.7.2 Servicios de datos.....	40
1.7.3 Servicios de video.....	41
1.8 Internet Protocolo Televisión (IPTV)- Definiciones IP.....	43
1.8.1 Requisitos en ADSL para HDTV .....	44

## CAPITULO 2 .....

### ASPECTOS TECNOLÓGICOS: SERVICIOS, EQUIPAMIENTOS Y DESPLIGUE. ...

2.1 Introducción.....	46
2.1.1 Ventajas y limitaciones de la fibra óptica.....	48
2.1.1.1 Fibra óptica y el actual cambio climático.....	48
2.1.2 Hitos y orígenes de la fibra óptica.....	49
2.1.3 Características generales de la fibra óptica.....	56
2.1.4 Ventajas y desventajas de la fibra óptica.....	58



2.1.4.1	Ventajas de la fibra óptica. ....	58
2.1.4.2	Desventajas de la fibra óptica. ....	60
2.2	Fundamentos físicos de transmisión por fibra óptica: óptica geométrica. ....	61
2.2.1	La óptica geométrica y la naturaleza de la luz. ....	62
2.2.2	Principios de Huygens.....	65
2.2.3	Principios de Fermat: camino óptico.....	67
2.2.4	Reflexión y refracción.....	72
2.2.4.1	Ley de la Reflexión.....	73
2.2.4.2	Ley de Snell o ley de la refracción.....	77
2.2.4.3	Reflexión total.....	82
2.3	Transmisión de señales a través de la fibra óptica.....	85
2.3.1	Composición y geometría de una fibra óptica. ....	85
2.3.1.1	Núcleo (Core).....	85
2.3.1.2	Revestimiento (Cladding).....	86
2.3.1.3	Recubrimiento ( Coating o Buffer).....	86
2.3.2	Principio de funcionamiento de la fibra óptica. ....	87
2.3.3	Clasificación y tipos de fibra óptica.....	89
2.3.3.1	Fibra óptica multimodo o MM (Multi Mode).....	90
2.3.3.2	Fibra Optica Monomodo o SM ( Single Mode ).....	95
2.3.4	Estándares de la fibra óptica.....	105
2.4	Parámetros de las fibras ópticas. ....	105
2.4.1	Parámetros estructurales. ....	105
2.4.2	Parámetros de transmisión. ....	106
2.4.2.1	Atenuación.....	106
2.4.2.2	Tipos de transmisores. ....	109
2.5	Cables ópticos.....	112
2.5.1	Composición y estructura de los cables ópticos.....	113
2.5.2	Estándares de los cables ópticos.....	115
2.6	Empalmes y conectores ópticos.....	118
2.6.1	Empalmes ópticos.....	118
2.6.2	Protección del empalme.....	120
2.6.3	Conectores ópticos.....	121
2.6.4	Acopladores ópticos.....	122
2.6.4.1	Tipos de acopladores ópticos.....	123
2.7	Multiplexores basados en filtros.....	124
2.7.1	Amplificadores ópticos.....	126
2.7.2	Características generales de un amplificador óptico. ....	127
2.7.3	Conversores ópticos de longitud de onda.....	128

### CAPÍTULO 3 IMPLEMENTACIÓN DE FTTH EN LA CIUDADELA KENNEDY

NORTE.....	130	
3.1	Diseño y planificación de una red FTTH.....	130
3.1.1	Niveles de una red FTTH.....	131
3.2	Infraestructura de transmisión por fibra óptica. ....	133
3.2.1	Terminología según topología de red.....	134
3.2.2	Elección de los elementos de red FTTH.....	139
3.2.2.1	Diseño de una red o enlace FTTH.....	139
3.3	Cálculo del balance óptico de una red FTTH.....	139
3.4	Descripción del proyecto.....	142

3.4.1	Escenario del despliegue.....	142
3.4.2.	Longitud máxima.....	143
3.4.3	Longitud media.....	145
3.4.4	Diseño de redes verticales.....	148
3.4.5	Longitud pequeña.....	150
3.5	Estudio sociocultural estadístico.....	153
3.6.	Especificaciones técnicas de los equipos activos en la red FTTH.....	153
3.6.1	Convertidor de medios TFC-110S20D3/D5 (Media converter).....	153
3.6.2	Datos de los tres ejemplos de red FTTH.....	155
3.6.3	Datos de los tres ejemplos de red FTTH.....	155
	CONCLUSIONES.....	157
	BIBLIOGRAFIA.....	160
	GLOSARIO DE TERMINOS.....	161
	ANEXOS.....	171

## ÍNDICE TABLAS Y FIGURAS

### TABLAS

Tabla 1.1 Familia de XDSL en particular	6
Tabla 1.2 Tabla resumen con características de las tecnologías FTTx	10
Tabla 1.3 Interconexiones red PON	13
Tabla 2.1 Se muestra una tabla con los índices de refracción de algunos medios más comunes de propagación de la luz	80
Tabla 2.2 Criterios de clasificación de la fibra óptica	90
Tabla 2.3 Clasificación de los parámetros de transmisión	106
Tabla 3.1 Simbología de zona # 6	144
Tabla 3.2 Capacidad de los cables ópticos para la zona # 6	145
Tabla 3.3 Simbología de zona # 2	147
Tabla 3.4 Capacidad de los cables ópticos con zona#6 y zona#2	148
Tabla 3.5 Simbología de zona # 1	151
Tabla 3.6 Capacidad de los cables ópticos con zona#6, zona#2 y zona#1	152
Tabla 3.7 Especificaciones técnicas de TFC-110S20D3/D5 (Media converter)	154
Tabla 3.8 Tabla con empalmes en longitud larga Zona#6	156
Tabla 3.9 Tabla con empalmes en longitud larga Zona #2	156
Tabla 3.10 Tabla con empalmes en longitud larga Zona #1	156

### FIGURAS

Figura 1.1 Frecuencias de subida y bajada en ADSL	5
Figura 1.2 Cable de 1800 pares de cobre y una fibra óptica	8
Figura 1.3 Número de repetidores entre Fibra y Cobre	8
Figura 1.4 Bandas y frecuencias de canales de transmisión HFC	9
Figura 1.5 Arquitectura de la tecnología FTTX	11
Figura 1.6 FTTO - Fibra hasta la oficina	13
Figura 1.7 Arquitectura punto a punto Vs punto a multipunto red PON	14
Figura 1.8 Topología punto a punto	15
Figura 1.9 Topologías lógicas de red PON	16
Figura 1.10 Funcionamiento del OLT	18
Figura 1.11 Funcionamiento del protocolo de difusión en una red PON	20
Figura 1.12 Funcionamiento interno de ONT	21
Figura 1.13 Funcionamiento divisor óptico	22
Figura 1.14 Cada canal es transmitido por un solo color diferente	24
Figura 1.15 Sistema de transmisión de fibra óptica con WDM	24
Figura 1.16 Rango de longitudes de onda por bandas	27
Figura 1.17 Se utiliza dos hilos para recorrer varias distancias	28
Figura 1.18 Diversos canales dentro de un BW de luz o frecuencia	29
Figura 1.19 Banda "C" y Banda "L" y su potencia vs longitud de onda	29
Figura 1.20 Diagrama de ojo.	29
Figura 1.21 Diagrama del ojo ideal	35

Figura 1.22 Enlace con una atenuación de 10 [dB]	36
Figura 1.23 Desempeño de sistemas de estructuras con diversidad espacial, en una transmisión BPSK coherente a través de un canal con desvanecimiento Rayleigh	38
Figura 2.1 Servicios que son posibles al transmitir datos por fibra óptica	47
Figura 2.2 Tecnología trabajando en conjunto con redes FTTH	47
Figura 2.3 Historia de fibra óptica	55
Figura 2.4 Representación de una onda senoidal con período T	63
Figura 2.5 Espectro electromagnético de la luz en función de la longitud de onda	64
Figura 2.6 Espectro de la Luz visible.	65
Figura 2.7 Fenómeno de la onda, según Huygens	66
Figura 2.8 Representación de frente de onda y rayos	67
Figura 2.9 Camino óptico	70
Figura 2.10 Trayectoria de un haz por varios medios físicos	70
Figura 2.11 Explicación matemática del Principio de Fermat	71
Figura 2.12 Ley de la refracción y reflexión	73
Figura 2.13 Ley de la reflexión	73
Figura 2.14 Reflexión en un espejo plano	76
Figura 2.15 Refracción de luz	77
Figura 2.16 Ley de Snell	77
Figura 2.17 Refracción de un rayo atravesando varios medios	81
Figura 2.18 Ley de Snell o Ley de la Refracción	81
Figura 2.19 Refracción entre los medios aire y agua	82
Figura 2.20 Angulo límite para la reflexión total	82
Figura 2.21 Angulo límite entre dos medios con distinto índice de refracción	84
Figura 2.22 Geometría física de la fibra óptica	87
Figura 2.23 Principio de operación de la fibra óptica.	88
Figura 2.24 Cono de aceptación de la fibra	89
Figura 2.25 Sección de fibra óptica multimodo	90
Figura 2.26 Fibra óptica multimodo de salto de índice	92
Figura 2.27 Fibra óptica multimodo de salto de índice	93
Figura 2.28 Fibra óptica multimodo de índice gradual	94
Figura 2.29 Sección de fibra óptica monomodo	95
Figura 2.30 Fibra óptica monomodo	96
Figura 2.31 Dispersión cromática de las fibras monomodo SMF, DSF y NZDSF	98
Figura 2.32 Comparación de diferentes tipos de fibra.	99
Figura 2.33 Grafica de atenuación total en una fibra óptica en función de la longitud de onda	108
Figura 2.34 Estructura genérica de un cable óptico	114
Figura 2.35 Cable con estructura holgada	115
Figura 2.36 Cable con estructura densa	115
Figura 2.37 Código de colores de fibras EIA/TIA-598-A	116
Figura 2.38 Colores del estándar EIA/TIA-598-A	117

Figura 2.39 Colores del estándar adoptado por fabricantes españoles	117
Figura 2.40 Colores del estándar EIA/TIA-598-A	118
Figura 2.41 Factores externos producidos en las uniones de la fibra óptica	120
Figura 2.42 Elementos básicos de un conector de la fibra óptica	122
Figura 2.43 Acoplador por fusión.	122
Figura 2.44 Acoplador por división de potencia	124
Figura 2.45 Multiplexor óptico de 4 canales con 3 filtros de 2X2	125
Figura 2.46 Demultiplexor óptico de 8 canales con 7 filtros de 2x2	125
Figura 2.47 Comportamiento general de los diferentes regeneradores de señal	126
Figura 2.48 Comportamiento de un conversor e longitud de onda	129
Figura 3.1 Niveles estructurales de una red FTTH	131
Figura 3.2 Infraestructura general de la red de fibra óptica	133
Figura 3.3 Red nacional de fibra óptica	134
Figura 3.4 Ruta de acceso internacional, con cable submarino. (Estación terrena y ciudad principal Guayaquil)	135
Figura 3.5 Red regional de fibra óptica	135
Figura 3.6 Red municipal de fibra óptica	136
Figura 3.7 Red local o urbana de fibra óptica	137
Figura 3.8 Red de acceso de fibra óptica	138
Figura 3.9 Ejemplo de red óptica típica	141
Figura 3.10 Longitud Máxima.Radio de cobertura 16 Km sin amplificación. Red PON	142
Figura 3.11 Punto más lejano del distrito en la zona # 6	143
Figura 3.12 Red de fibra óptica conectada al abonado en zona # 6	144
Figura 3.13 Punto más lejano del distrito en la zona # 2	146
Figura 3.14 Red de fibra óptica conectada al abonado en zona#2	146
Figura 3.15 Diseño de tendido vertical.	150
Figura 3.16 Punto más cercano del distrito en la zona #1	150
Figura 3.17 Red de fibra óptica conectada al abonado en zona#1, área #1	151
Figura 3.18 Conversor de fibra de modo – sencillo de 1000Base-T a 1000Base-LX	155
Figura 3.19 Longitud larga	155
Figura 3.20 Longitud media	156
Figura 3.21 Longitud pequeña	156

## RESUMEN

El presente Proyecto Fin de Carrera tiene como finalidad detallar de forma minuciosa, el diseño y la instalación una red óptica FTTH, como proyecto inicial y una modalidad de expansión a futuro para una empresa dedicada a las telecomunicaciones. Inicialmente se proyecta a una cobertura de servicio a un sector de la ciudad de Guayaquil conocida como Kennedy Norte con aproximadamente 1500 usuarios repartidos en tres zonas.

El desarrollo del documento consta de varios capítulos que se detallan a continuación:

- Fundamentos teóricos y técnicos de la tecnología FTTX. Breve introducción en la que se exponen tanto la motivación del proyecto como los objetivos del mismo. Para ello se realiza una breve descripción de la situación actual en el último tramo de las redes (bucle de abonado) y se propone mejorar la red a partir de la inclusión de transmisión óptica hasta cada usuario final.
- Aspectos tecnológicos: servicios, equipamiento y despliegue. A lo largo de este capítulo se realiza una descripción detallada sobre este tipo de redes ópticas, analizando y detallándola a todos los niveles: nivel físico, nivel de enlace y nivel de red.

Con ello se pretende explicar y dar a conocer este tipo de redes que configuran la solución final del proyecto.

- Fundamentos de transmisión en fibra óptica. En este capítulo se tratan de forma minuciosa los fundamentos de transmisión a través de sistemas ópticos, en los que se basan las redes FTTH. Se realiza una exposición sobre la teoría física que permite la transmisión, y una descripción detallada de todos los elementos que intervienen en el proceso de conmutación basado en esta infraestructura física.
- Procedimiento y recomendaciones de diseño de una red FTTH. A la hora de tener en cuenta los procedimientos para ello conforme a la normativa vigente.

En este capítulo se desarrollan los más importantes y necesarios para poder diseñar e instalar una red óptica pasiva de forma óptima.

- Aplicación específica: despliegue de FTTH en la ciudadela Kennedy Norte. Se realiza una breve descripción del proyecto donde se expone el escenario del despliegue de la red y la solución adoptada para tal fin. El capítulo contiene: la parte de diseño, donde se explican y analizan de forma detallada todos y cada uno de los pasos llevados a cabo en el diseño de la red; y la parte de planificación e instalación de la red, donde se detallan los pasos seguidos para la implantación y certificación final de la red.

Conclusiones. Capítulo donde se extraen las consideraciones finales y las conclusiones una realizados el diseño y la instalación de la red, analizando el resultado final y destacando las particularidades más relevantes del proyecto.

Además, se adjuntan diversos apéndices que complementan la información de los distintos capítulos del proyecto, así como anexos como planos y fotografías que documentan gráficamente la instalación real llevada a cabo en el área de despliegue expuesta en capítulo 3.





## **Introducción**

El medio de transmisión representa la autopista de la información en mundo globalizado, que se diferencian por sus capacidades y frecuencias de transmisión para su respectiva operatividad. Para el caso de la fibra óptica, siendo el único medio de transmisión que tiene mayores prestaciones debido a las características técnicas, dicha evolución ha sido muy significativa dentro de las telecomunicaciones. El filamento de vidrio cuyo material constituye la fibra óptica compacta y de alta pureza, tiene la característica similar a la de un cabello humano.

Las empresas de Telecomunicaciones tanto públicas como privadas, pueden conseguir una amplia aceptación entre el público y competir con calidad y servicios con las demás empresas existentes. Los sistemas de comunicaciones por fibra óptica comprenden de tres módulos para realizar cualquier tipo de enlace, siendo estos: el transmisor, la fibra óptica como medio de transmisión y el receptor.

La parte de transmisión acopla la señal de información a través de un convertidor A/D (Analógica/Digital), de ahí para por el proceso de modulación, posteriormente pasa por un conversor de V/C (voltaje/corriente) permitiendo generar mayor energía al diodo LED o ILD (fuente de luz) y se activan dependiendo del suministro de la corriente eléctrica y se enlaza con el núcleo de la fibra óptica.

Mientras que la parte receptora comprende el acople del fin de núcleo de la fibra con el detector de Luz que puede ser un diodo PIN o APD, los que son sensibles a la luz alterando sus características como el flujo de la corriente generando una variación cuantificable. Esta corriente de oscuridad conocida así por ser generada en ausencia de la luz es necesario convertirla en señal de voltaje para finalmente cumplir la Interfaz Analógica o Digital realizándose el proceso inverso respecto del transmisor.

### **1.1. Definición del problema**

Las redes de telecomunicaciones de empresas públicas y privadas en sectores urbanos en la ciudad de Guayaquil no cuentan con la tecnología FTTH, con limitaciones del cobre, debido a esto surge la necesidad de proponer el despliegue de redes de comunicaciones ópticas mediante la interconexión red PON punto a punto.

## ***Objetivos***

### **1.1.1. Objetivo General:**

Proponer el despliegue de Redes FTTH para un sector de la ciudad de Guayaquil que permita mejorar las comunicaciones tanto para empresas públicas como privadas.

### **1.1.2. Objetivos específicos:**

- ✓ Describir la fundamentación teórica y técnica de la tecnología FTTH.
- ✓ Determinar los aspectos tecnológicos necesarios para el equipamiento y servicios necesarios para el despliegue de la red.
- ✓ Proponer la implementación de una red FTTH en la ciudadela Kennedy Norte en la ciudad de Guayaquil.

## ***Hipótesis***

El presente proyecto de investigación permite demostrar el despliegue de redes ópticas FTTH que permitirá mejorar la calidad de transmisión de información tanto de voz y datos en la ciudadela Kennedy Norte y posterior crecimiento de la banda ancha del internet.

## **1.2. Metodología de investigación.**

En el presente proyecto se aplicarán conceptos relacionados con las redes de fibra óptica como medio de comunicación y otros relacionados con la investigación de servicios ofrecidos por otras empresas y técnicas.

La presente investigación es de carácter **exploratorio y explicativo**, cuyo paradigma es el empírico-analítico con enfoque cuantitativo.

Se han utilizado varios métodos de investigación. El método de análisis y síntesis para analizar las diferentes tecnologías y métodos de encuestas, valores que se ingresaran a un programa que determinará la factibilidad económica del proyecto.

# CAPITULO 1

## 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y TÉCNICOS DE LA TECNOLOGÍA FTTX

En este capítulo, se presenta la necesidad de las operadoras de Telecomunicaciones en mantenerse a la vanguardia del mundo, renovando sus redes de planta externa, redes de cobre que son con las que llegan a sus clientes, frente a las altas velocidades que requieren los nuevos servicios de éste siglo. La situación actual de la tecnología, su constante desarrollo y la demanda de clientes a nuevos servicios mucho más rápidos, obliga a considerar la renovación del bucle del abonado (compuesto por un cable de pares de cobre que se extienden entre la central telefónica local y el abonado) instalada hace muchos años.

Partiendo de ésta problemática, se desarrolla éste proyecto con la finalidad de motivar la renovación del bucle del abonado por actuales tecnologías como es la fibra óptica. El objetivo principal del proyecto consiste en presentar de forma paralela al conocido bucle de abonado usado por los operadores, con una nueva alternativa en redes. Orientado a los operadores de Telecomunicaciones, y particularmente a la CNT (Corporación de telecomunicaciones del Estado de Ecuador) que les permitirá mantener el servicio tradicional de la telefonía e innovar en nuevos servicios por muchos años.

Conocer, describir, implementar y desplegar la tecnología FTTH (del inglés Fiber To The Home - fibra hasta el hogar) en una zona determinada, consiguiendo estandarizar la red bajo una misma tecnología física de acceso y permitiendo al usuario final disfrutar de servicios de ultra banda ancha. PON (Gigabit Passive Optical Networks - Gigabit Redes Pasivas Ópticas).

### 1.1 Evolución de las Telecomunicaciones.

Desde el telégrafo eléctrico impulsado por Samuel Morse en 1844, seguido por invento del teléfono en 1876 por Alexander Graham Bell , las redes de

telecomunicaciones han evolucionado a lo largo de la historia para ofrecer servicios de mensajes, telefonía, televisión e Internet en sus respectivas variantes. Satisfacer la creciente demanda de nuevos servicios de telecomunicaciones en las últimas décadas, los operadores optan por renovar los equipos electrónicos para compensar dicho fenómeno.

Cualquier sistema de telecomunicación estable necesita de una infraestructura y unos gastos que sólo puedan ser sufragados por una entidad poderosa. Las soluciones que se tomen, pasan indistintamente por dos causas necesarios:

- 1.- Incrementar la capacidad del canal disponible por el usuario, aumentando tanto la velocidad de transferencia de datos, como el volumen de información.
- 2.- Disminuir la tasa de errores del sistema, aumentando la fiabilidad, confiabilidad y calidad en las transmisiones.

Aumentar el ancho de banda y reducir la pérdida de bits enviados y recibidos en la transmisión, ha generado un reto a nivel de infraestructura física necesaria en la comunicación. En la práctica los operadores han trasladado el problema a dos niveles:

- A nivel de troncal: La comunicación entre centrales telefónicas y nodos. Esta ha recibido mayor renovación los últimos años, digitalizando la red.
- A nivel de bucle de abonado: Conexión local entre central telefónica y el abonado. Técnicas en diseño de cables han permitido ofrecer servicios de telefonía y datos, pero con poca capacidad de ancho de banda, velocidad y distancias.

Es por tanto el bucle de abonado el punto que mayor impacto tiene sobre el usuario final. De ahí que haya despertado un gran interés a los operadores de varios países en invertir y renovar dicho canal.

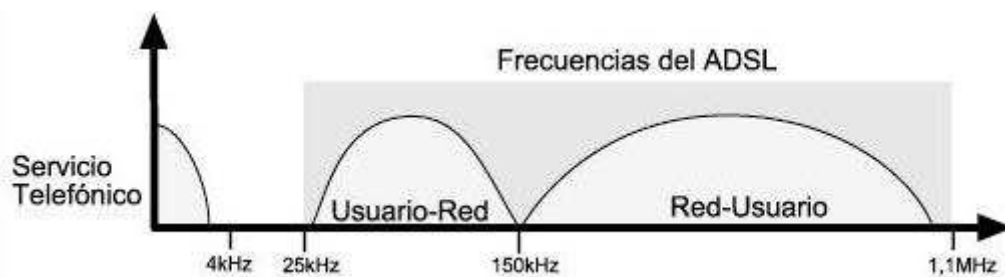
#### **1.1.1 Solución con par de cobre.**

La solución más adoptada y comercializada a sido la tecnología XDSL (Es referencia para incluir los diferente diseños ADSL, HDSL, RDSL Y VDSL en un grupo general.) más concretamente conocido como, ADSL- Líneas de Datos para el Suscriptor. Equipos capaces de aprovechar el cable de cobre instalado en hogares y

empresas. Este grupo de tecnologías, multiplexan en un mismo medio tanto las señales de voz como los datos a diferentes frecuencias, permitiendo la transmisión simultanea de estos servicios en tres canales [01] descendente, ascendentes y canal de voz.

Tal como afirma Walter Goralski en *Tecnologías ADSL y xDSL*, “el principal factor que provoca limitaciones dentro de la gama de tecnologías xDSL, tanto en la velocidad, como en la distancia. En la grafica 1.1 se observa que la tecnología ADSL utiliza un ancho de banda por encima del requerido para servicio telefónico concretamente entre 25Khz y 1,1 Mhz. La banda de frecuencias utilizadas por el ADSL se subdivide a su vez en 2 partes:

- Subida desde 25Khz hasta 150Khz
- Bajada desde 150 Khz hasta 1.1Mhz



**Figura 1.1** Frecuencias de subida y bajada en ADSL

El limite general para el servicio DSL es de aproximadamente 5486.4 metros. Al preguntarnos por qué existe la limitación de la distancia para el acceso a Internet DSL, pero no para las llamadas de voz, si DSL y las llamadas de voz por teléfono, usan las mismas líneas. La razón de esto radica en los pequeños amplificadores llamados bobinas de carga que se instalan en las líneas telefónicas para impulsar las señales de voz.

Estas bobinas de carga son incompatibles con las señal de DSL, así que si hay una bobina de carga en la línea divisoria entre su lugar de residencia y la oficina central de la compañía telefónica, el cliente no puede recibir DSL. En la Tabla 1.1 se muestra la familia de las XDSL de forma particular. En las conexiones Asimétricas están ADSL, RADSL y VDSL. En las conexiones Simétricas tenemos HDSL, HDSL2, SDSL e IDSL [02]. La tecnología ADSL ha existido desde hace cerca de diez años y

fue desarrollada originalmente para recibir televisión a través de la red telefónica estándar.

Pero con el desarrollo de Internet, se encontró un nuevo uso para esta tecnología: poder navegar en la red de manera veloz y sin ocupar la línea telefónica. La ADSL es, hoy en día, una de las tecnologías disponibles en el mercado para el transporte de TV/video en formato digital (MPG1 ó MPG2) por medio de la utilización de conexión telefónica. El estándar se completó en 1995 y proporcionaba: un canal telefónico con conexión analógica o ISDN. Un canal ascendente con una capacidad máxima de 800Kbits/s. Un canal descendente con una capacidad máxima de 8192Kbps/s

**Tabla 1.1** Familia de XDSL en particular

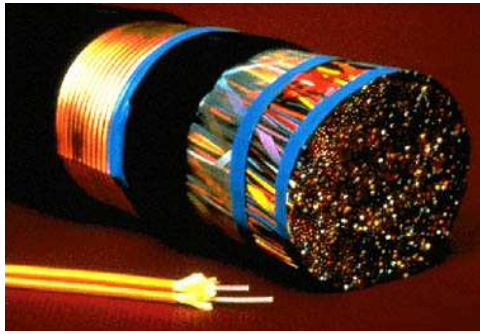
Nombre	Significado	velocidad	Modo	Comentario
HDSL	DSL de alta velocidad	1.544 Mbps	Simétrico	Utilizaba 2 pares de hilos
HDSL2		2.048 Mbps	Simétrico	HDSL2 Utiliza un par de hilos
SDSL	DSL de par único	768 Kbps	Simétrico	Utiliza un par de hilos
ADSL	DSL asimétrico	De 1.5 Mbps a 8 Mbps	Sentido Downstream (descendente)	Utiliza 1 par de hilos. Mínima longitud de bucle: 5.5 kms
		De 16 kbps a 640 kbps	Sentido Upstream (ascendente)	
RADSL	DSL de velocidad adaptable	De 1.5 Mbps a 8Mbps	Sentido Downstream (descendente)	Utiliza un par de hilos, pero puede adaptar la velocidad de datos a las condiciones de línea.
		De 16 kbps a 640 kbps	Sentido Upstream (ascendente)	
CDSL	DSL de consumidor	Hasta 1 Mbps de 16 a 128 Kbps	Downstream Upstream	Utiliza un par de hilos, pero necesita equipos remotos en casa.
IDSL	DSL de RDSI	Igual que el interfaz básico (BRI) de la RDSI	Simétrico	Utiliza un par de hilos denominados "Bri sin conmutador"
VDSL	DSL de muy alta velocidad	De 13 a 52 Mbps De 1.5 a 6.0 Mbps	Downstream Upstream	Velocidades muy elevadas. De 300 a 1300 de longitud máxima de bucle. Para funcionar necesita una red de fibra y ATM

La RDASL debe permitir velocidades ascendentes de 128 kbps a 1 Mbps y velocidades descendentes de 600 Kbps a 7 Mbps, para un bucle de 5,4 Km de longitud máxima. La VDSL ( Very high- data-rate Digital Subscriber Line - DSL de muy alta tasa de transferencia) es la más veloz de las tecnologías descendentes de 13 a 55,2 Mbps y velocidades ascendentes de 1,5 a 6Mbps o en caso de que se requiera una conexión simétrica una velocidad de 34Mbps en ambas direcciones. Por lo tanto, VDSL puede usarse tanto en conexiones simétricas como asimétricas, con una distancia corta de hasta 1.5 Km.

La HDSL (DSL de alta velocidad) fue la primera tecnología DSL que apareció y fue desarrollada a comienzos de la década de 1990. Esta tecnología consiste en dividir el núcleo digital de la red: T1 en los Estados Unidos, por medio de 2 cables trenzados y E1 en Europa, con 3 cables trenzados. Con esta tecnología se puede alcanzar velocidades de 2Mbps en ambas direcciones con dos pares trenzados. Puede suceder que la velocidad de 2 Mbps descienda a 384 kbps debido a, por ejemplo, la calidad y la distancia de la línea durante el último kilómetro ( entre 3 y 7 Km según el diámetro del cable, que puede variar entre 0.4 mm y 0.8 mm respectivamente).

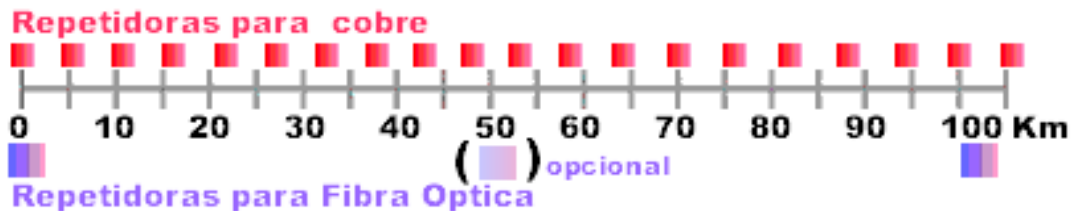
El sistema de transmisión físico con mejores prestaciones existentes al día de hoy en el mercado, capaz de supera las limitaciones de ancho de banda, distancia de transmisión e interferencias entre canales, es la fibra óptica. Este tipo de soporte físico, sustituye la transmisión de señales a través de impulsos electromagnéticos por impulsos luminosos [03]. Dada la naturaleza del cable y sus características de propagación mediante rayos de luz, es un medio insensible a las interferencias electromagnéticas.

Según el método de transmisión de datos, un par F.O. pueden transmitir la misma cantidad de información que 2200 pares telefónicos. Con la fibra óptica es posible aumentar considerablemente la capacidad de transmisión. En la actualidad se utiliza la combinación de los dos tipos de cables para aprovechar infraestructuras antiguas. En la figura 1.2 se muestra la dimensión física entre los dos tipos de cables.



**Figura 1.2** Cable de 1800 pares de cobre y una fibra óptica.

El cable de cobre requiere varios equipos amplificadores para alcanzar varios kilómetros. En la siguiente figura 1.3 se representa las distancias que se recorren con ayuda de varios amplificadores.



**Figura 1.3** Número de repetidores entre Fibra y Cobre.

La fibra óptica utilizada en la red troncal, uniendo las diferentes centrales telefónicas o nodos primarios se interconecta entre sí a través de enlaces de fibra óptica. Estas conexiones podían ser mediante enlaces punto a punto, o bien, mediante una topología física en anillo. De esta forma, quedaba garantizada una transmisión central eficiente.

### 1.1.2 Solución con cable coaxial.

Tras los primeros análisis de estudios compartidos entre diferentes sistemas de transmisión física, algunos operadores lograron mejorar las prestaciones de los servicios ofrecidos por par de cobre a través de la instalación de los denominados cables híbridos (HFC) [04]. Este sistema HFC consiste en la mejora de la infraestructura a través de la implantación de dos medios físicos a lo largo de la red de transmisión.

Una red FFC ( Híbridas Fibra Óptica-Coaxial) es una red de telecomunicaciones por cable que combina la fibra óptica y el cable coaxial como soporte de la transmisión de las señales. El funcionamiento general de los sistemas HFC basados en coaxial sobre el bucle de abonado es muy similar al funcionamiento de los sistemas xDSL



sobre el par de cobre. Se multiplexa dentro del mismo cable, las señales de voz y datos a diferentes frecuencias. El rango de operación descendente se realiza a través del canal 6 Mhz dentro de la banda de frecuencias comprendidas entre 45 Mhz y los 860 Mhz.

Puede llegar a alcanzar velocidades de transmisión de hasta 30 Mbps. El rango de operación ascendente se realiza por un canal de 2 Mhz dentro de la banda de frecuencias comprendida entre los 5 Mhz y los 45 Mhz. Puede llegar a alcanzar velocidades de transmisión de hasta 10 Mbps. El canal de voz, ubicado en baja frecuencia, hasta los 4 KHz. En la figura 1.4 se muestra el rango de frecuencia de operación.



**Figura 1.4.** Bandas y frecuencias de canales de transmisión HFC.

El cable coaxial tiene desventajas propias a su composición. Este medio de transmisión posee una atenuación de la señal bastante elevada, lo que provoca la necesidad de amplificadores cada pocos kilómetros para el caso de señales analógicas. Para el caso de transmisión de señales digitales, es necesaria la instalación de un amplificador por kilómetro.

Hay que sumarle el ruido térmico, producido por el aumento de temperatura del material resultante de la agitación de los electrones en el conductor, propio pues de la transmisión electromagnética; y el ruido de intermodulación, producido por la multiplexación de señales dentro del mismo canal de transmisión, y que origina un ruido de frecuencia combinada entre las diferentes frecuencias de las señales que se transmiten .

## 1.2 Sistema FTTH

Los sistemas de transmisión óptica FTTx, y específicamente el sistema FTTH es el modelo sobre el cual se basará el diseño y despliegue de la red propuesta en el proyecto. Así pues, se describe el funcionamiento general de este tipo de redes, estándares de arquitectura y estructura de funcionamiento, así como su situación actual en el mundo, servicios que ofrece y los que en el futuro lograrán ofrecer. Esta información permitirá tener una mejor perspectiva de la gran utilidad a los operadores de telecomunicaciones el poseer bucles de fibra óptica hasta el abonado.

### 1.2.1 Introducción a las redes FTTx

Las redes FTTH pertenecen a la familia de sistemas FTTx dentro del mundo de las telecomunicaciones. Estas redes, consideradas banda de ancha, tienen la capacidad de transportar gran cantidad de datos e información a velocidades binarias muy elevadas, hasta un punto próximo al cliente o usuario final. La familia FTTx, comprende un conjunto de tecnologías basadas en el transporte de señales digitales a través de fibra óptica como medio de transmisión.

Es decir que existen diferentes niveles de alcance, en función del grado de acercamiento de la fibra óptica hasta el cliente desde la central, que generan o involucran costos de un mayor o menor abaratamiento en los sistemas. Todas las redes FTTx, admiten una configuración lógica de red en árbol, estrella en bus y en anillo. En todas ellas con posibilidad siempre de utilizar componentes activos dependiendo de la localización de los usuarios o clientes finales.

Según el grado de penetración de la fibra óptica FTTx, tiene las denominaciones y características. En la tabla 1.2 mostramos su alcance [5]. Y en la grafica 1.5 podemos observar la arquitectura de la tecnología FTTx.

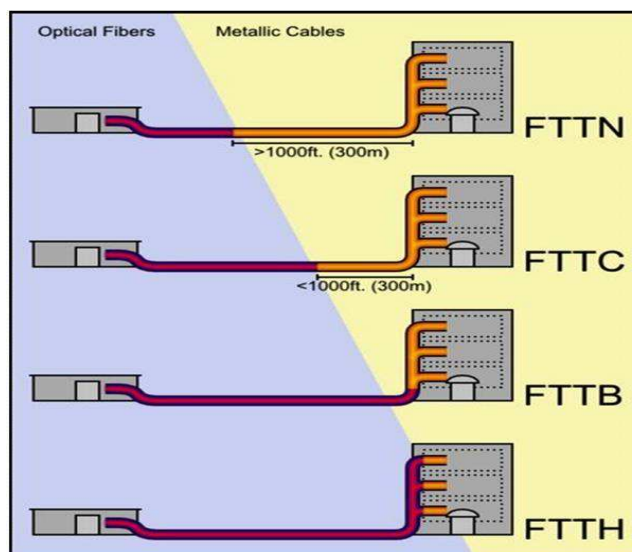
**Tabla 1.2** Tabla resumen con características de las tecnologías FTTx

DENOMINACIÓN	ALCANCE	DISTANCIA MÉTRICA
FTTN	Fiber To The Node ( fibra hasta el nodo)	Fibra Óptica desde la central hasta una distancia del edificio entre 1.5 - 3 km
FTTC	Fiber To The Curb ( fibra hasta	Fibra Óptica desde la central hasta una distancia

	acera)	del edificio entre 300 - 600
<b>FTTB</b>	Fiber To Building or Bussiness ( fibra hasta el edificio)	Fibra Óptica desde la central hasta el cuarto de Telecomunicaciones del edificio, sin incluir tendido hasta el hogar.
<b>FTTH</b>	Fiber To The Home ( fibra hasta el hogar)	Fibra Óptica desde la central hasta el PTR de los hogares.

Existen otras denominaciones que, de forma paralela, fueron surgiendo según fue avanzando esta tecnología, y que sin embargo, no se consideran estandarizadas. No obstante, es conveniente nombrarlas, debido a que en muchos ambientes, utilizan esta nomenclatura [2].

- **FTTCab** : Fiber To The Cabinet (fibra hasta el armario, a la intemperie)
- **FTTP** :Fiber To The Premises ( fibra hasta las instalaciones)
- **FTTO** :Fiber To The Office (fibra hasta la oficina)
- **FTTU** :Fiber To The User ( fibra hasta el usuario)



**Figura 1.5** Arquitectura de la tecnología FTTX

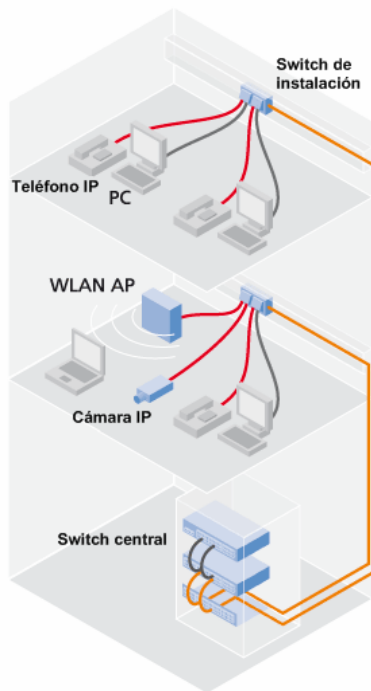
La utilización de fibra óptica como medio de transmisión hasta los hogares, y por tanto, hasta los usuarios finales, garantiza una red completamente adaptada tanto a las necesidades actuales, como a las futuras. La reutilización de esta infraestructura física supone un ahorro económico a lo largo plazo, a pesar de su fuerte desembolso inicial en la fase de despliegue, amortizándolo en muy poco tiempo. La instalación de fibra óptica hasta edificios residenciales era prácticamente inexistente en Ecuador hasta ahora, dado el grado de despliegue de tecnologías alternativas más maduras y aparentemente más económicas para operadores, como son xDSL, PLC, HFC, etc.

Sin embargo existen empresas privadas ISP (Proveedor de Servicio de Internet) en nuestro país, que ya ofrecen el servicio de Internet con fibra óptica hasta el cliente, expandiéndose cada vez más a nuevas áreas, alcanzando más clientes en el año he instalando más cables con hilos de fibra óptica. La demanda exponencial de aumento, por un ancho de banda y velocidad de transmisión solicitado por los clientes en las diferentes operadoras, hace que las tecnologías empiecen a llegar a un punto de limitación y casi insalvable.

El medio físico utilizado no soporta tanto caudal de datos a tales velocidades.. De ahí que se hace necesario pensar en un cambio drástico del canal, que permita establecer un conducto de banda ancha mucho mayor, en el mercado y tecnología actual encontramos a: la fibra óptica.

#### **1.2.1.1 Fibra para la oficina FTTO**

Cuando las infraestructuras de alta velocidad a base de fibras ópticas llegan hasta la oficina directamente, sin utilizar cobre u otro tipo de conductores, se les conoce por las siglas FTTO (Fiber to the office) y se consideran ideales porque permiten el uso de servicios avanzados de todo tipo. En la figura 1.6 es posible ver dicho despliegue.



**Figura 1.6** FTTO - Fibra hasta la oficina

### Arquitectura general de una red FTTH.

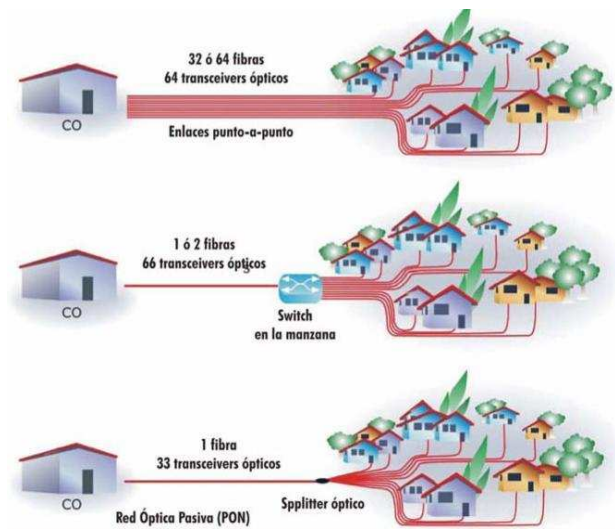
La tecnología FTTH de cualquier tipo, sea su configuración y arquitectura final propone una utilización del medio físico a través de la multiplexación por longitud de onda ( WDM - Wavelength Division Multiplexing), desde la central hasta cada usuario [2]. Al tener un bucle de fibra óptica se tienen muchas ventajas, tales como: Mayores ancho de banda, mayores distancias desde la central hasta el abonado, mayor resistencia a la interferencia electromagnética, mayor seguridad de la red, menor degradación de las señales, entre otras.

La interconexión entre el abonado final y el nodo de distribución que prestará los servicios, puede realizarse a través de varias configuraciones físicas, entre ellas podemos tener en la tabla 1.3.

**Tabla 1.3** Interconexiones red PON

	<i>INTERCONEXIONES</i>	<i>MATERIALES</i>
•	Punto a multipunto	- Con Switch
		- Con Splitter óptico
•	Punto a punto	- Solo fibra óptica monomodo

En la siguiente figura 1.7 se expresa lo antes mencionado, de las cuales la opción punto a punto será escogida para nuestro proyecto.



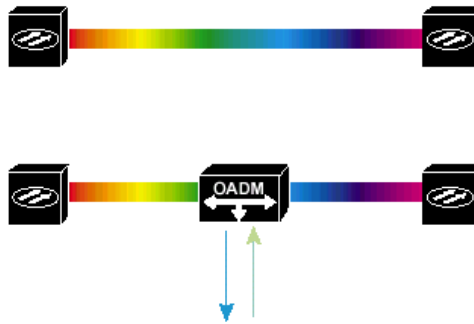
**Figura 1.7** Arquitectura punto a punto Vs punto a multipunto red PON

Las mismas que se detallan a continuación.

### 1.2.2.1 Configuración punto a punto. (El más sencillo)

La topología punto a punto puede ser implementada con o sin OADMs. Estas redes están caracterizadas por velocidades de canales ultra rápidos (10 a 40 [Gbps]), alta integridad y confiabilidad de la señal, y rápida restauración de trayectoria. En redes long-haul (larga distancia), la distancia entre transmisor y receptor puede ser varios cientos de kilómetros, y el número de amplificadores requeridos entre ambos puntos, es típicamente menor que 10. En redes MANs, los amplificadores no son necesarios frecuentemente.

La protección en topologías punto-a-punto puede ser proveída en una pareja de caminos. En los equipos de primera generación, la redundancia es un nivel del sistema. Líneas paralelas conectan sistemas redundantes a ambos extremos. En los equipos de segunda generación, la redundancia es al nivel de tarjeta. Líneas paralelas conectan un solo sistema en ambos extremos que contienen transpondedores, multiplexores y CPUs redundantes. En la figura 08 se puede observar este tipo de topología.



**Figura 1.8** Topología punto a punto.

La configuración punto a punto, en cuanto a fibra óptica se refiere, se concreta exactamente a los enlaces entre el nodo central y el usuario final. [5] Los enlaces de transmisión punto a punto son utilizados por empresas que disponen de acceso a la fibra óptica en planta externa. En cuanto a la parte activa de la red, los equipos utilizados para la transmisión de información en enlaces punto a punto son PDH o SDH, así como WDM. Estos enlaces gozan de alta capacidad, y son muy útiles para las empresas.

Sin embargo existen varios operadores de telecomunicaciones que discrepan en el despliegue de la fibra punto a punto. Unos indican que es muy costoso, otros lo tienden el cable a medio costo y unos sin costo de instalación. Esto nos muestra que la competencia por la fibra crece y conviene a todos. Esta configuración (punto a punto), rompería el esquema de configuración global de la red, debido a que la configuración estrella o árbol, se iría desmantelando.

#### 1.2.2.2 Configuración punto a multipunto.

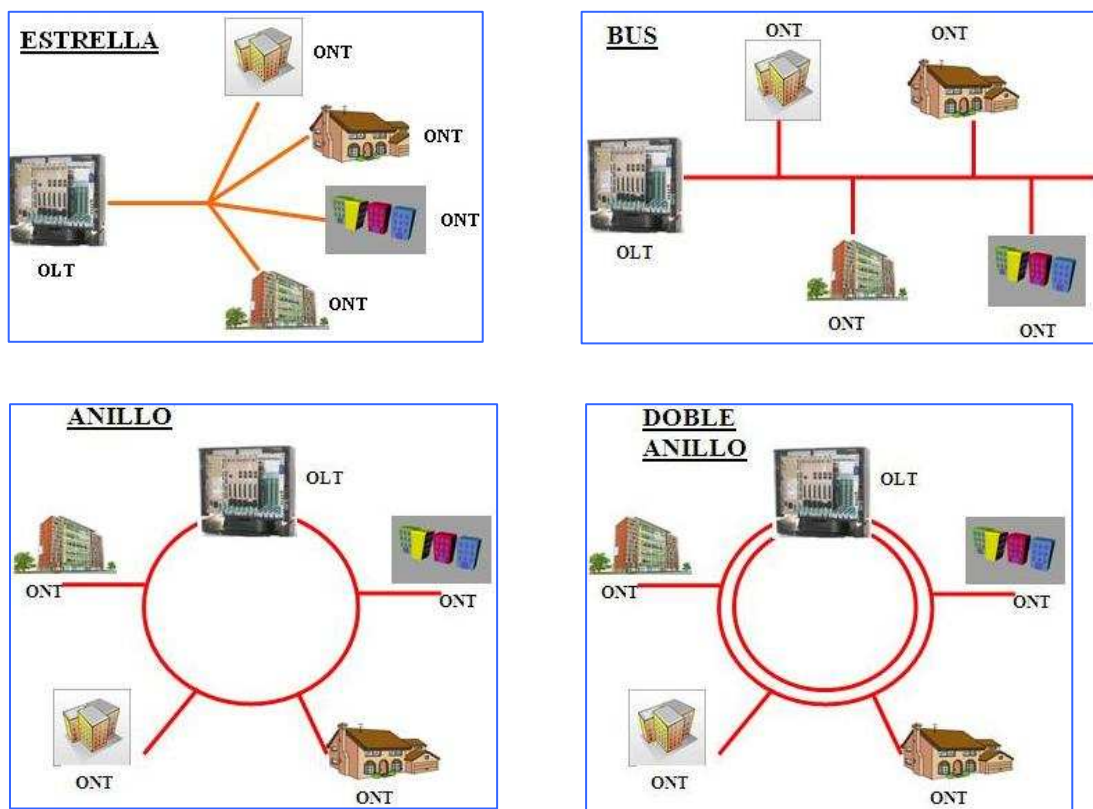
La arquitectura basada en redes PON o redes ópticas pasivas, se define como un sistema global carente de elementos activos en el bucle del abonado. Sin embargo si poseen equipos eléctricos dentro de la red PON entre los cuales están el: [6]

- **ODN:** red de distribución óptica ( *optical distribution network*). Consiste en la red en si misma que distribuye la señal desde la centralita hasta los hogares. Está constituida por cables de fibra óptica, los divisores pasivos o splitters y los armarios con paneles de distribución óptica.
- **OLP:** terminación óptica de línea ( *optical line termination*). Consiste en un elemento pasivo ubicado en la cabecera de la red o centralita, y generalmente se instala uno por cada fibra óptica.

- **ONT**: terminación óptica de red (*optical network termination*). Consiste en elementos pasivos que se ubican en las dependencias de los usuarios finales. Típicamente suelen ser un máximo de 32.
- **Splitter**: divisor óptico pasivo. Se considera el elemento principal de la red, ya que es el encargado de direccionar las señales desde el equipo activo de la red, hasta cada usuario en particular.

La filosofía general de esta arquitectura, consiste en compartir los costos entre diferentes terminales, con el objetivo de reducir el número de fibras y bajar costos en el despliegue y mantenimiento. Sin embargo no alcanza uno de los objetivos de nuestro proyecto de ofrecer al cliente. Las topologías lógicas de las redes FTTH, pasan también por configurar una estructura de transmisión en bus, y en anillo, donde el OLT es la cabecera de la red, y las ONT los elementos secundarios que cuelgan de la red. Sin embargo, estas configuraciones no son habituales a la hora de diseños de ingeniería eficientes.

En la grafica 1.9 siguiente aparecen las topologías lógicas que se pueden dar en una red FTTH. [2]



**Figura 1.9** Topologías lógicas de red PON



### 1.3 Funcionamiento de una red PON.

La red óptica pasiva funciona siempre bajo la transmisión entre OLT y las diferentes ONT a través de los divisores ópticos, que multiplexan las señales en función de su procedencia y destino.

#### 1.3.1 El OLT

El OLT, actúa como el elemento de cabecera de la red PON encargado de gestionar el tráfico de información en dirección a los usuarios ONT o proveniente de ellos. Y además, actúa de puente con el resto de redes externas, permitiendo el tráfico de datos con el exterior. Cada OLT, adquiere datos de tres fuentes diferentes de información, actuando como concentrador de todas ellas. Así, el OLT de cabecera tiene conexiones con las siguientes redes [6]:

- **PSTN** (*public switched telephone network*) o RTB (red telefónica básica), para los servicios de voz; el OLT se conecta a través de un router de voz o un *gateway* de voz mediante interfaz correspondiente MGCP (*media gateway controller protocol*) o protocolo de controlador *gateway* de medios de comunicación.
- **Internet**, para los servicios de datos o VoIP; el OLT se conecta a través de un router o *gateway* IP/ATM de voz, mediante encapsulamiento IP sobre ATM.
- **Video broadcast** o VoD (*video on demand*), para los servicios de videodifusión; el OLT se conecta directamente, o bien indirectamente a través de un router o *gateway* ATM.

Sin embargo, el OLT no es un hardware único, sino que se subdivide en tres módulos o equipos diferentes, cada uno de ellos encargados de gestionar un tráfico determinado. Así, existen tres subtipos de OLT [7]:

- **P-OLT**, OLT proveedor (provider OLT). Este equipo tiene dos tareas fundamentales:
  - Es el encargado de recoger infinidad de tramas de voz y datos agregadas que se dirigen hacia la red PON, procedentes de las redes RTB e Internet, y las transforma en señales inyectable en las diferentes ramas de los usuarios por difusión a través del protocolo TDM o multiplexación por división en el tiempo (*time*

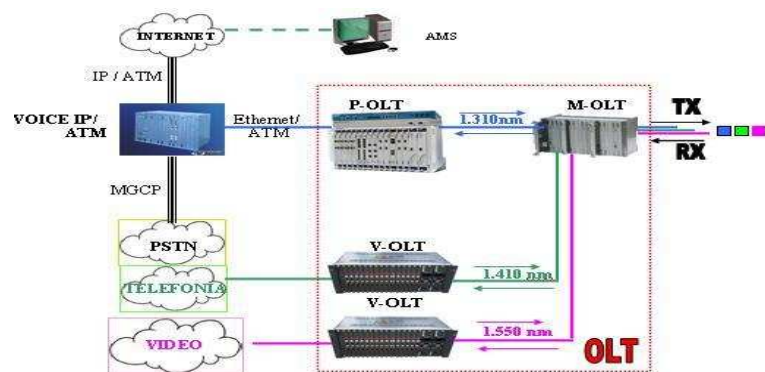
*division multiplexing*). Para ello, utiliza una longitud de onda dedicada, siendo ésta 1490 nm.

- Absorbe todas las tramas de voz y de datos procedentes de los ONT de usuarios, concentrándolos en una sola vía de escape en función de la naturaleza de los datos recibidos. Así pues el tráfico de voz lo redirige hacia la RTB, y el tráfico de datos hacia la red Internet. Para ello, utiliza una longitud de onda, siendo ésta 1310nm.

El P-OLT además de concentrar la información, y dividirla en función de su naturaleza (voz-datos), también se encarga de multiplexar el canal descendente (en dirección a los ONT) y ascendentes (en dirección al OLT) a través de la misma fibra.

- **V-OLT**, OLT de video (*video OLT*). Este equipo se encarga únicamente de transportar las tramas de video y video bajo demanda VoD procedentes de la red de videodifusión, hasta los ONT de los usuarios. Para ello, transforma las tramas de video en señales inyectables en las ramas de todos los usuarios (difusión), que viajan en una longitud de onda dedicada: 1550nm.
- **M-OLT**, OLT multiplexador (*multiplexer OLT*). Es un equipo multiplexor WDM que permite la multiplexación y demultiplexación entre las señales procedentes del P-OLT y V-OLT.

Así pues, cada OLT tiene la tarea de enviar transferencia entre los contenidos del canal descendente y ascendente, utilizando dos longitudes de onda diferentes superpuestas. Para ello utiliza técnicas WDM (*wavelength division multiplexing*), basadas en el uso de filtros ópticos: multiplexación por división de longitud de onda. En la siguiente grafica 1.10, se observa el funcionamiento del mismo.



**Figura 1.10** Funcionamiento del OLT

Por último, cabe destacar que los OLT también poseen dimensionadores de distancias, capaz de calcular la diferencia de distancia entre el usuario final y la central. Esta función tiene relación directa con la potencia de transmisión del OLT hacia un ONT determinado.

### 1.3.2 El ONT

Los ONT son elementos capaces de filtrar la información asociada a un usuario concreto procedente del OLT. Además, tiene la función de encapsular la información de un usuario y enviarla en dirección al OLT de cabecera, para que éste la redireccione a la red correspondiente. Se encuentran generalmente instalados en los hogares junto a la roseta óptica correspondiente.

Existen dos tipos de ONT según su función [6]:

- **H – ONT**, u ONT del hogar (*Home ONT*), preparado para ser instalado en los hogares y otorgar servicios a un usuario en particular. En este caso, la fibra llega hasta los hogares, y entra dentro del despliegue FTTH.
- **B-ONT**, u ONT de edificio (*Building ONT*), preparado para ser instalado en los R.I.T.I o cuartos de comunicaciones de los edificios privados o empresas, y que se encuentran capacitados para dar servicio a varios usuarios conectados a él a través de un repartidor. En este caso, la fibra no llega al hogar, sino hasta el edificio, denominándose FTTB.

En el caso de las ONTs del exterior, deben estar preparadas para soportar las inclemencias meteorológicas y suelen estar equipadas con baterías. Existe una gran variedad de ONTs, en función de los servicios que se quieran ofrecer y las interfaces que ofrezcan al usuario:

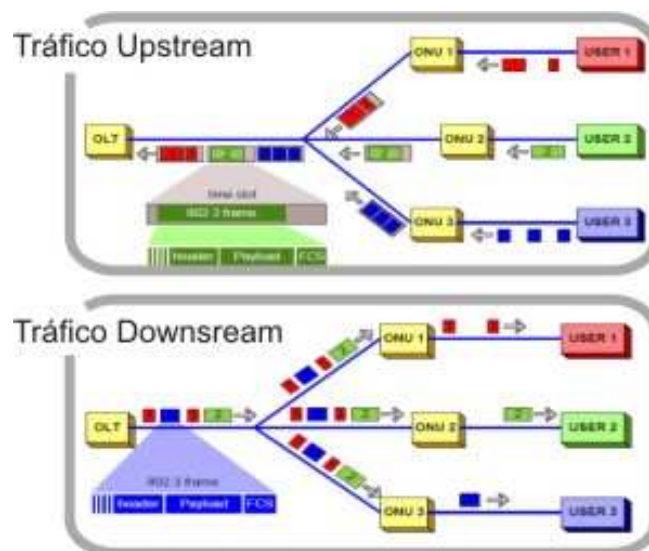
- Interfaces fast ethernet, que pueden alcanzar velocidades de hasta 100 Mbps. Se suelen utilizar en usuarios residenciales para ofrecer servicios de televisión o Internet.
- Interfaces gigabit ethernet, que pueden alcanzar velocidades de hasta 1 Gbps. Se utilizan para dar servicios a empresas.

- Interfaces RJ11, que se utilizan para conectar teléfonos analógicos y ofrecer servicios de voz.
- Interfaces E1 o STM-1, para dar servicios específicos de empresa

El filtrado de la información, se lleva a cabo de nivel de protocolo Ethernet, a través de las de las denominadas tramas PEM (*PON encapsulation method*). La trama, consta de tres campos [9]:

- **Cabecera** (header); este campo contiene información sobre sincronización de la trama.
- **CRC** ; que permite conocer si la información enviada ha llegado correctamente y sin errores a su destino
- **Carga útil** (*Payload*); son los datos a enviar

En la figura 1.11, se muestra el funcionamiento de este filtrado de difusión por TDM [8].



**Figura 1.11** Funcionamiento del protocolo de difusión en una red PON

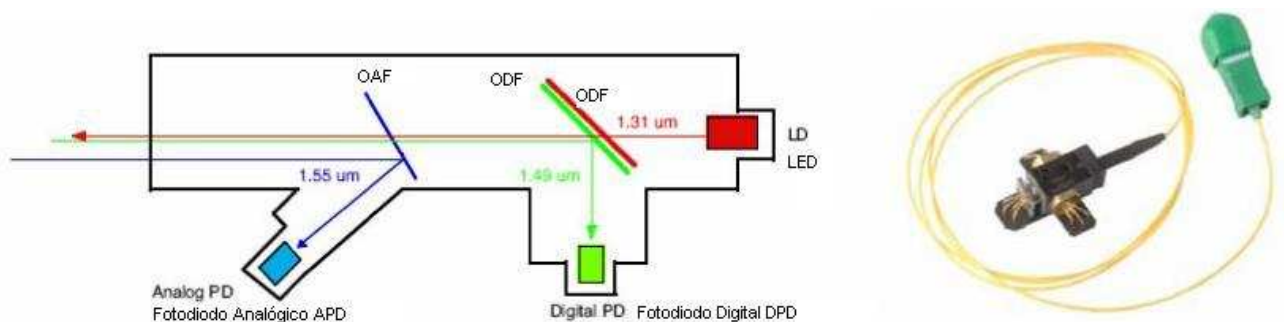
Filtrada la información que interesa, el ONT diferencia entre las señales de video, procedentes del V-OLT, y las tramas de voz y datos, procedentes del P-OLT. Para realizar este segundo filtrado, el módulo electroóptico posee dos fotodiodos: uno analógico APD (analogic photo-diode) y otro digital DPD (digital photo-diode). Los filtros ópticos son [8].

- **OAF**, filtro óptico analógico (*optical analogic filter*); la señal de video a 1550 nm se demultiplexa en longitud de onda con este filtro, atacando el fotodiodo analógico APD para realizar conversión en frecuencia.
- **ODF**, filtro digital (*optical digital filter*); la señal de voz y datos a 1490 nm se demultiplexa en longitud de onda con este filtro, atacando al fotodiodo digital DPD.

Por otra parte, el ONT no sólo recibe y fibra información procedente del OLT, sino que también envía información a este último en una longitud de onda dedicada de 1310 nm. El ONT dispone de un LED encargado de enviar las luminosas hacia el OLT. Para evitar la colisión de información entre usuarios, utilizan un protocolo de TDM (multiplexación por división temporal), que gestiona el OLT, asignando intervalos temporales a cada ONT. En la siguiente grafica se muestra el funcionamiento basado en filtros ópticos y diodo LED de transmisión. [6].

### 1.3.2.1 VPON

Gracias a una nueva variedad de transceptores ópticos es posible superponer una señal de video junto al tradicional caudal de datos de las redes ópticas pasivas A/BGPON y EPON. Esta señal, transmitida a 1550nm y modulada en frecuencia desde un láser ultra lineal tipo CATV ubicado en la cabecera de la red, puede transportar el espectro UHF y VHF a todos los equipos ONUs de la arquitectura PON. A través de una sencilla circuitería, esta señal es extraída en los equipos de usuarios por el transceptor óptico, amplificada utilizando un amplificador de banda ancha para el rango V/UHF y, directamente, puede ser introducida al conector de antena de televisores analógicos o decodificadores digitales. Ver figura 1.12.



**Figura 1.12** Funcionamiento interno de ONT

### 1.3.3 El divisor óptico ( splitter)

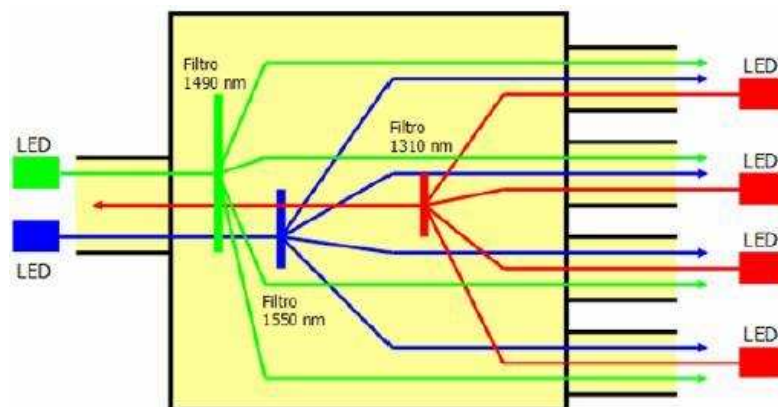
Los splitters, son divisores de potencia pasivos que permiten la comunicación entre el OLT y sus respectivos ONT a los que presta servicio. Sin embargo, no sólo se dedican a multiplexar señales, sino que también combinan potencia: son dispositivos de distribución óptica bidireccional, con una entrada y múltiples salidas:

- ✓ La señal que accede por el puerto de entrada ( enlace descendente), procede del OLT y se divide entre los múltiples puertos de salida.
- ✓ Las señales que acceden por las salidas (enlace ascendente), proceden de los ONT ( u otros divisores) y se combinan en la entrada.

El hecho de ser elementos totalmente pasivos, les permite funcionar sin necesidad de energía externa, abaratando su costo de despliegue, operación y mantenimiento. Tan sólo introducen pérdidas de potencia óptica sobre las señales de comunicación, que son inherentes a su propia naturaleza. Existe una relación matemática inversa entre las pérdidas introducidas por el divisor, y el número de salidas del mismo, siendo ésta [2]:

$$\text{Atenuación splitter} = 10 \log 1/N$$

Así pues, un divisor de potencia con dos salidas, en el peor de los casos, pierde 3 dB (la mitad de la potencia) en cada salida. En la figura 1.13 se representa el modelo antes expuesto.



**Figura 1.13** Funcionamiento divisor óptico.

#### **1.4 Descripción del funcionamiento de una red de transmisión PON**

Detallados los elementos principales que constituyen la red PON, es necesario conocer el funcionamiento del sistema en forma global, y su comportamiento de la red y sus elementos interconectados. El medio de transmisión de la información es por rayos de luz, los mismos que han sido descompuestas en varias frecuencia y estandarizadas en un sistema WDM (multiplexación por división de longitud de onda) y sus avances tecnológico DWDM-CWDM .

El primer sistema WDM en combinar dos señales portadoras hizo su aparición alrededor de 1985 a principios del siglo XXI, la tecnología permite combinar hasta 160 señales con un ancho de banda de unos 10Gbps por segundo. Ya las operadoras están usando los 40 Gbits/s, y realizando pruebas a velocidades de 100 Gbps/s. No obstante la capacidad teórica de una sola fibra se estima en 1600 Gbt/s. De manera que es posible alcanzar mayores capacidades en el futuro, a medida que avance la tecnología.

WDM, es una tecnología que multiplexa varias señales sobre una sola fibra óptica mediante portadoras ópticas de diferentes longitud de onda, usando luz procedente de un láser o un LED. De este modo se puede aprovechar en mayor medida el enorme ancho de banda que posee la fibra óptica. Las redes metropolitanas o MAN (Metropolitan Area Network) son redes que cubren ámbitos de una ciudad o varias ciudades cercanas que hacen de interfaz entre las redes de acceso y las redes troncales de transporte a largas distancias.

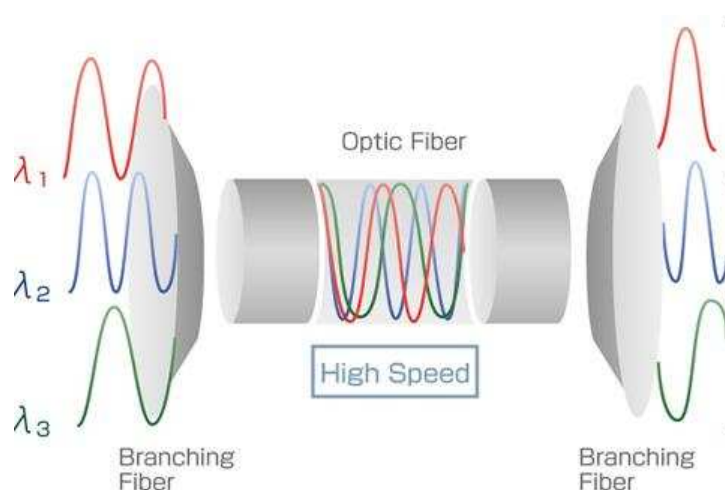
Las necesidades de estas redes son típicamente: escalabilidad, bajo costo, flexibilidad, robustez, transparencia y anchos de banda relativamente altos y adaptados al cliente. La demanda de capacidad de transporte en el entorno metropolitano es cada vez mayor, debido a la introducción de servicios y aplicaciones con gran consumo de ancho de banda. Esta necesidad de ancho de banda en la red metropolitana suscitó hace unos años en gran interés en los sistemas WDM, pues además la transparencia inherente a esta tecnología se adapta muy bien a este entorno, caracterizado por la necesidad de integrar una diversidad de clientes, servicios y protocolos.

Sin embargo, estos sistemas no cumplieron en ningún momento las previsiones, debido principalmente a que tenían un costo muy alto y no permitían un rápido retorno de las inversiones realizadas en su adquisición y despliegue. Sin embargo, la

madurez de la tecnología WDM ha permitido conseguir sistemas adaptados específicamente al entorno metropolitano, ofreciendo altos anchos de banda a un costo relativamente bajo. Dentro de la familia de tecnologías WDM, la económicamente más competitiva en cortas distancias es la CWDM (Coarse WDM). La tecnología CWDM se beneficia del menor costo de los componentes ópticos asociados a una tecnología CDWM se beneficia del menor costo de los componentes ópticos asociados a una tecnología menos compleja, que aunque limitada en cuanto a capacidad y distancia, se adapta perfectamente a las necesidades de las redes empresariales y metropolitanas de corta distancia. En la figura 1.14 y 1.15 se puede observar varios canales de información por una única fibra.



**Figura 1.14** Cada canal es transmitido por un solo color diferente.



**Figura 1.15** Sistema de transmisión de fibra óptica con WDM.



Dentro de la familia WDM existen dos sistemas:

- **DWDM** que a su vez puede ser de ultra larga distancia, o metropolitano.
- **CWDM** es una técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica que pertenece a la familia de multiplexación por división de longitud de

onda (WDM), se utilizó a principios de los años 80 para transportar señal de video (CATV) en conductores de fibra multimodo, fue estandarizado por la ITU-T (Internacional Telecommunication Union – Telecommunication sector), en la recomendación de la norma G.694.2 en el año 2002. Se basa en una rejilla o separación de longitudes de onda de 20 nm (o 2.500 Ghz) en el rango de 1270 a 1610 nm; pudiendo así transportar hasta 18 longitudes de onda en una única fibra óptica monomodo. De acuerdo con esto, se tiene dos importantes características inherentes a los sistemas CWDM que permiten emplear componentes ópticos más sencillos y, por lo tanto, también más baratos que en los sistemas DWDM:

- Mayor espaciamiento de longitudes de onda. De esta forma, en CWDM se pueden utilizar láseres con un mayor ancho de banda espectral y no estabilizados, es decir, que la longitud de onda central puede desplazarse debido a imperfecciones de fabricación o a cambios en la temperatura a la que está sometido el láser y, aún así, estar en banda. Esto permite fabricar láseres siguiendo procesos de fabricación menos críticos que los utilizados en DWDM.

Dichos láseres no tengan sofisticados circuitos de refrigeración para corregir posibles desviaciones de la longitud de onda debidos a cambios en la temperatura a la que está sometido el chip; lo cual reduce sensiblemente el espacio ocupado por el chip y el consumo de potencia, además del coste de fabricación. Por lo general en CWDM se utilizan láseres de realimentación distribuida o DFB (*Distributed Feed-Back*) modulados directamente y soportando velocidades de canal de hasta 2,5 Gbps sobre distancias de hasta 80 Km en el caso de utilizar fibra óptica G.652.

Por otro lado, CWDM utiliza filtros ópticos y multiplexores y demultiplexores basados en la tecnología de película delgada o TFF (*Thin-Film-Filter*), donde

el número de capas del filtro se incrementa cuando el espaciamiento entre canales es menor. Esto supone de nuevo una mayor capacidad de integración y una reducción de coste. Estos filtros CWDM de banda ancha, admiten variaciones en la longitud de onda nominal de la fuente de hasta unos  $\pm 6-7$  nm y están disponibles generalmente como filtros de uno o dos canales.

- Mayor espectro óptico. Esto, que permite que el número de canales susceptibles de ser utilizados no se vea radicalmente disminuido a pesar de aumentar la separación entre ellos, es posible porque en CWDM no se utilizan amplificadores ópticos de fibra dopada con Erblio o EDFA (*Erbium Doped Filter Amplifier*) como ocurre en DWDM para distancias superiores a 80 Km. Los EDFA son componentes utilizados antes de transmitir o recibir de la fibra óptica, para amplificar la potencia de todos los canales ópticos simultáneamente, sin ningún tipo de regeneración a nivel eléctrico.

Los sistemas CWDM utilizan, de ser necesario por las distancias cubiertas o número de nodos en cascada a atravesar, regeneración; es decir, cada uno de los canales sufre una conversión óptico-eléctrico-óptico de forma totalmente independiente al resto para ser amplificado. El costo de la optoelectrónica en CWDM es tal, que es más simple y menos caro regenerar que amplificar.

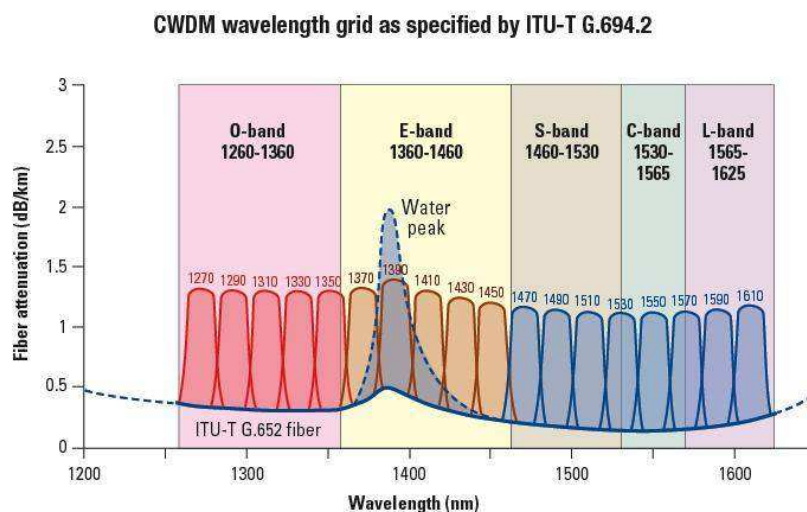
Por otro lado, puesto que los regeneradores realizan por completo las funciones de amplificación, reconstrucción de la forma de la señal, y temporización de la señal de salida, compensan toda la dispersión acumulada; esto no ocurre en la amplificación óptica, a no ser que se utilicen fibras con compensación de dispersión o DCF (*Dispersion Compensation Fiber*), de alto coste y que además suelen requerir de una etapa de preamplificación previa dada la alta atenuación que introducen.

Además, CWDM es muy sencillo en cuanto a diseño de red, implementación, y operación. CWDM trabaja con pocos parámetros que necesiten la optimización por parte del usuario, mientras que los sistemas DWDM requieren de complejos cálculos de balance de potencias por canal, algo que se complica aún más cuando se

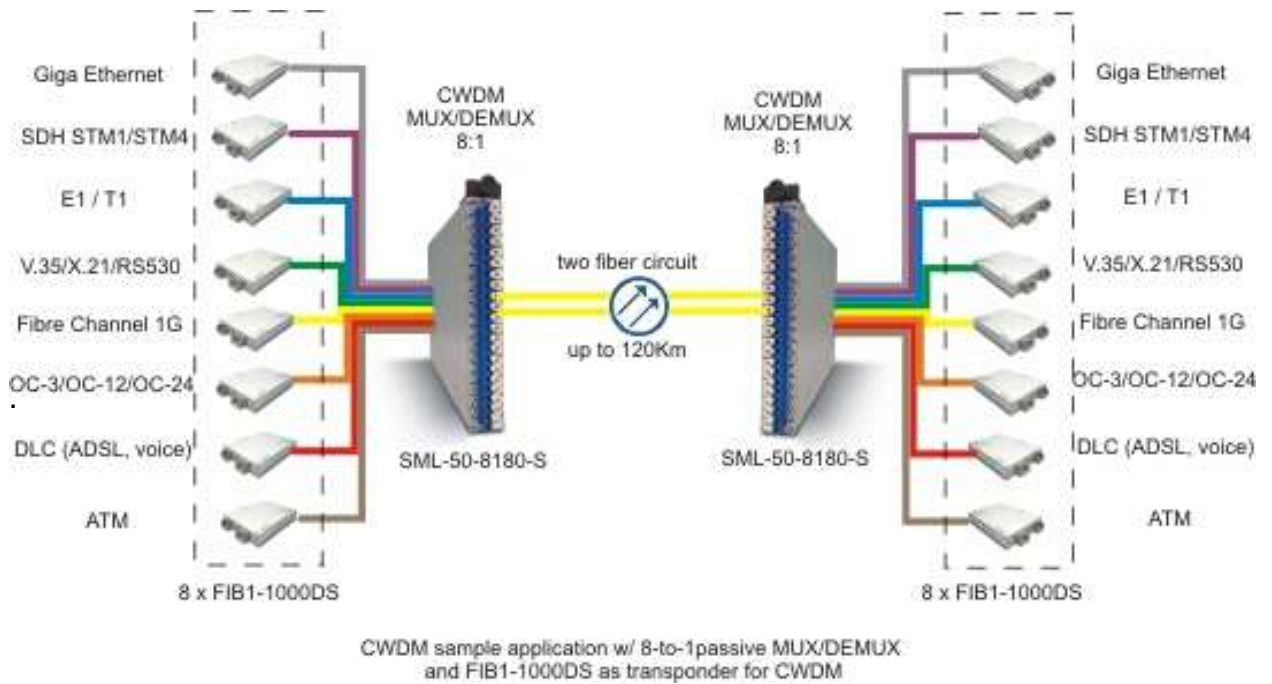
añaden y extraen canales o cuando DWDM es utilizado en redes en anillo, sobre todo cuando los sistemas incorporan amplificadores ópticos. Las características son:

- Posee espaciamiento de frecuencias de 2.500 GHz (20nm), dando cabida a láseres de gran anchura espectral.
- 18 longitudes de onda, definidas en el intervalo de 1270 a 1610 nm
- Los CWDM actuales tienen su límite en 2,5 Gbps. ( primeros equipos)
- Puede transportar cualquier servicio de corto alcance como: SDH, CATV, ATM, FTTH
- PON, 10Gibabit, entre otros.
- En cuanto a las distancias que cubren llegan hasta unos 80 km
- Utilizan láser DBF (láseres de realimentación distribuidos) sin peltier ni termistor.
- Usa filtros ópticos de banda ancha, multiplexores y demultiplexores basados en TFF (tecnología de película delgada)
- Mayor espaciamiento de longitudes de onda, lo que indica que si hay una variación en la onda central debido a imperfecciones de los láseres producidos por procesos de fabricación menos críticos esta onda se mantendrá en banda.
- Mayor espectro óptico, esto nos permite tener un número de canales para utilizar sin que estos sean disminuidos a causa de la separación entre ellos.

En la figura 1.16 se puede observar las diversas longitudes de onda. En la figura 1.17 se observa una forma de uso a las longitudes de onda.



**Figura 1.16** Rango de longitudes de onda por bandas.



**Figura 1.17** Se utiliza dos hilos para recorrer varias distancias.

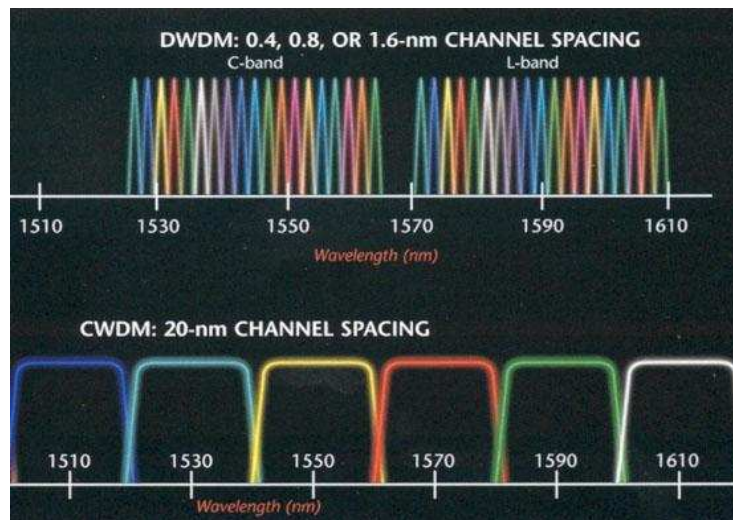
DWDM . (Dense wavelength Division Multiplexing), que significa Multiplexación por división en longitudes de onda densas. DWDM es una técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica usando la banda C (1550 nm). Es un método de multiplexación muy similar a la Multiplexación por división de frecuencia que se utiliza en medios de transmisión electromagnéticos. Varias señales portadoras (ópticas) se transmiten por una única fibra óptica utilizando distintas longitudes de onda de un haz láser cada una de ellas.

Cada portadora óptica forma un canal óptico que podrá ser tratado independientemente del resto de canales que comparten el medio (fibra óptica) y contener diferente tipo de tráfico. De esta manera se puede multiplicar el ancho de banda efectivo de la fibra óptica, así como facilitar comunicaciones bidireccionales. Se trata de una técnica de transmisión muy atractiva para las operadoras de telecomunicaciones ya que les permite aumentar su capacidad sin tender más cables ni abrir zanjas.

Para transmitir mediante DWDM es necesario dos dispositivos complementarios: un multiplexor en lado transmisor y un demultiplexor en el lado receptor. A diferencia del CWDM, en DWDM se consigue mayor números de canales ópticos reduciendo la dispersión cromática de cada canal mediante el uso de un láser de mayor calidad,

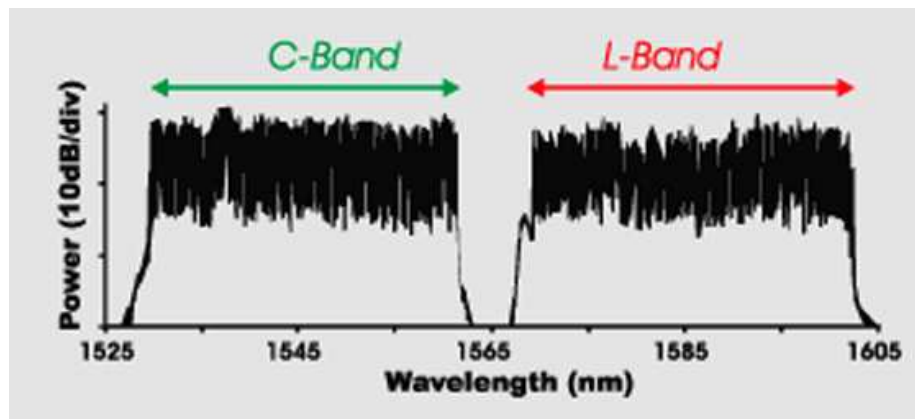
fibras de baja dispersión o mediante el uso de módulos DCM "Dispersion Compensation Modules". De esta manera es posible combinar más canales reduciendo el espacio entre ellos. Actualmente se pueden conseguir 40, 80 o 160 canales ópticos separados entre sí 100 GHz, 50 GHz o 25 GHz respectivamente.

En la figura 1.18 se observa los diferentes canales que se generan dentro de un ancho de banda de luz.



**Figura 1.18** Diversos canales dentro de un BW de luz o frecuencia.

Los diversos canales usados están dentro de las banda C y banda L. En la grafica 1.19 se observa dicho comentario.



**Figura 1.19** Banda "C" y Banda "L" y su potencia vs longitud de onda.

Las fibras monomodo convencionales pueden transmitir en el rango de 1.300 a 1.550 nm. absorbiendo las longitudes de onda de 1.340 a 1.440 nm. Los sistemas WDM emplean longitudes de ondas en los dos rangos posibles (de 1.300 a 1.340 nm 's1.440 a 1.550 nm). Existen fibras especiales que permiten la transmisión en todas las longitudes de ondas comprendidas entre 1.530 y 1.565 nm sin absorción. Sin

embargo no todos los componentes opto electrónicos trabajan con la misma eficiencia en todas las longitudes de onda.

Los sistemas DWDM emplean los últimos avances en la tecnología óptica para generar un gran número de longitudes de onda en el rango cercano a 1.550 nm. La ITU-T en su recomendación G.692 define 43 canales en el rango de 1.530 a 1.565 nm con un espaciamiento de 100 GHz, cada canal transportará un tráfico OC-192 a 10 Gbps. Sin embargo, cada día salen al mercado sistemas con mayor número de canales. Un sistema DWDM de 40 canales a 10 Gbps por canal proporciona una velocidad agregada de 400 Gbps.

Actualmente, los sistemas comerciales DWDM presentan 16- 40 y 80 canales, y se prevé la próxima salida al mercado de sistemas de 128 canales. Los sistemas con 40 canales presentan un espaciado entre canales de 100 GHz, los que tienen 80 canales tienen un espaciado de 50 GHz. Este espaciado en frecuencia indica la proximidad de los canales entre sí. Un canal no utiliza solamente una única longitud de onda.

Cada canal tiene un determinado ancho de banda alrededor de la longitud de onda central, cada banda se separa de la siguiente por una banda zona de guarda de varios GHz, de esta manera se busca evitar posibles solapes o interferencias entre canales adyacentes. Estos problemas se deben a derivas en los emisores láser por la temperatura o el tiempo, a que los amplificadores ópticos no presentan una ganancia constante para todas las longitudes de onda y a los posibles efectos de dispersión, entre otros.

El número de canales depende también del tipo de fibra óptica empleada. Un único filamento de fibra monomodo puede transmitir datos a una distancia aproximada de 80 Km. sin necesidad de amplificación. Colocando 8 amplificadores ópticos en cascada, la distancia puede aumentar a 640 km.

### **1.5 Estándares de redes PON**

Las redes PON, constituyen una familia de redes (xPON), cuyo origen se encuentra en una primera red fue definida por la FSAN, grupo formado por 7 operadores de telecomunicaciones, como el objetivo de unificar las especificaciones para el acceso de banda a las viviendas. Las recomendaciones UIT han sido preparadas por la

Comisión de Estudio de acuerdo a estándares establecidos, como por ejemplo el G.983.1 que con fecha 15 (1997-200) del UIT-T y fue aprobada por el procedimiento de la Resolución # 1 de la CMNT el 13 de octubre de 1998.

A continuación se muestra una evolución de los estándares.

### **1.5.1 Recomendación UIT-T G.983.1**

#### **(Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas)**

Esta recomendación describe una red de acceso flexible de fibra óptica que puede soportar los requisitos de anchura de banda de los servicios de la RDSI y de la RDSI-BA. Describe sistemas con velocidades de línea simétrica nominales de 155,520 Mbps/s y velocidades de línea asimétrica de 155.520 Mbps/s y 622,080 Mbit/s en sentido ascendente y descendente, respectivamente. La recomendación propone los requisitos y especificaciones de capa física para la capa dependiente de medios físicos, la capa TC y el protocolo de determinación de distancia de una red óptica pasiva basada en el ATM (ATM-PON)(Asynchorus Transfer Mode o modo de transferencia asíncrono) [11].

### **1.5.2 Recomendación UIT-T G.983.1**

#### **(Especificaciones de la interfaz de control y gestión de terminales de red óptica para redes ópticas pasivas con modo de transferencia asíncrono)**

En el sistema ATM-PON definido en G.983.1 [3], los ONT están ubicados en el domicilio del abonado. El sistema de gestión del elemento ATM-PON solamente gestionará los ONT como parte del sistema ATM-PON a través del OLT utilizando la interfaz de control y gestión del ONT. En la recomendación se presenta los requisitos de la interfaz de control y gestión del ONT.

En primer lugar, se especifican entidades gestionadas de una base de información de gestión (MIB) independiente del protocolo que modela el intercambio de información entre el OLT y el ONT. Se estudia en canal de control y gestión del ONT, el protocolo y los mensajes detallados. [12], [13]. En su primera versión, las redes BPON estaban definidas bajo una tasa fija de transmisión de 155 Mbps, tanto

para el canal ascendente como para el descendente. Sin embargo, más adelante se notificó para flexibilizarla, admitiendo canales asimétricos:

- Canal descendente : 622 Mbps.
- Canal ascendente : 155 Mbps.

Sin embargo, y a pesar de presentar mejoras respecto a las redes APON, tenían un elevado costo de implementación, así como diversas limitaciones técnicas. De esta forma, se ha ido avanzando poco a poco para solventar los problemas que suponía esta tecnología que, a día de hoy, permite de forma asimétrica alcanzar velocidades de hasta 1.2 Gbps de la siguiente forma:

- Canal descendente : 1,244 Gbps.
- Canal ascendente : 622 Mbps.

Por otro lado, a parte de admitir velocidades de transmisión, permite caudalizar el canal descendente y el ascendente bajo 1 o 2 fibras monomodo (según norma ITU-T G.652) [14], con un alcance máximo de 20Km entre divisor óptico y ONT, y entre ONTs de misma etapa. Las longitudes de onda de trabajo que establece el estándar BPON, varían en función de si se utilizara 1 o 2 fibras por cada ONT, aunque para ambos establece una longitud de onda dedicada para la difusión de video desde el OLT hasta las ONT, siendo ésta diferente de las utilizadas en la transmisión de voz y datos. Las longitudes de onda son:

- Para 1 fibras por ONT, compartida para la transmisión y recepción:
  - Canal descendente:  $\lambda = 1480 - 1500 \text{ nm}$
  - Canal ascendente :  $\lambda = 1260 - 1360 \text{ nm}$
  - Video :  $\lambda = 1550 - 1560 \text{ nm}$
- Para 2 fibras por ONT, una para transmisión y otra para recepción:
  - Canal descendente :  $\lambda = 1260 - 1360 \text{ nm}$
  - Canal ascendente :  $\lambda = 1260 - 1360 \text{ nm}$
  - Video :  $\lambda = 1550 - 1560 \text{ nm}$

Las redes BPON, admiten un radio máximo de 32 divisores por OLT, y cada divisor, admite un máximo de 64 salidas a usuarios ONT. Esto supone un total de:



Usuario max= 32divisorsOLT x 64 usuarior divisor= 2.048 usuarios/OLT

### **1.5.3 Estándar EPON: IEEE 802.3ah**

La evolución de las redes PON estandarizadas por la ITU, y que tienen su origen en la FSAN, surge una especificación realizada por el grupo de trabajo EFM ( Ethernet in the First Mile o Ethernet en última milla), constituido por la IEEE. La intención del EFM en este sentido, era la de aprovechar las ventajas de las características de la tecnología de fibra óptica en redes PON, y aplicarlas a Ethernet. De esta forma, crearon el estandar EPON(Ehernet PON) bajo la norma IEEE 802.3ah (ed.2004) [15], y a día de hoy se encuentra en desarrollo.

La arquitectura de una red EPON, se basa en el transporte de trafico Ethernet, pero manteniendo las características de la especificación IEE 802.3, y por tanto deja a un lado la transmisión de celdas ATM, sobre la que se basan los estándares APON y BPON, y encapsula la información sobre tramas Ethernet. Este hecho, permite dotar a Epon de ciertas ventajas respecto a los estándares de APON y BPON que son :

- Permitir trabajar directamente a velocidades de Gbps, al ir soportado sobre Ethernet. Este caudal no es monousuario, puesto que ha de repartirse entre tantos usuarios (ONT) como tenga el sistema.
- La interconexión entre islas o etapas EPON es más simple.
- Se reducen ciertos costos derivados de la utilización de elementos ATM y SDH, propio de las redes anteriores.

En cuanto a velocidades de transmisión se refiere, Epon establecer un régimen de línea a 1.244Mbps simétrico, tanto para el canal descendente como para el ascendente

Cabe destacar, que la estandarización sólo permite caudalizar el canal descendente y el ascendente bajo 1 sola fibra monomodo ( según norma ITU-T G.652), con un alcance máximo de 10Km entre divisor y ONT, y entre ONTs de misma etapa (existe la previsión de ampliar la distancia a 20 Km en ambos casos.)El estándar EPON establece una longitud de onda dedicada para la difusión de video desde el OLT hasta los ONT al igual que el estándar BPON, siendo ésta diferente de las utilizadas en la transmisión de voz y datos. Las longitudes de onda son:

- Canal descendente :  $\lambda = 1480 - 1500 \text{ nm}$
- Canal ascendente :  $\lambda = 1260 - 1360 \text{ nm}$
- Video :  $\lambda = 1550 - 1560 \text{ nm}$

Las redes EPON admiten un radio máximo de 16 divisores por OLT, y cada divisor admite un máximo de 64 salidas a usuarios ONT. Esto supone un total de: (Usuario max= 16 divisoresOLT x 64 usuariar divisor= 1.024 usuarios/OLT).En este caso, el estándar admite menos número de usuarios ONT conectados y en servicio a un mismo OLT respecto del estándar BPON. Exactamente, la diferencia entre uno y otro sería la siguiente: (Usuarios max/BPON = 2.048 usuarios/OLT ) / (Usuarios max/EPON = 1.024 usuarios/OLT) con un total de = 2 veces más usuarios BPON respecto a EPON

## 1.6 DIAGRAMA DE OJO.

El **diagrama de ojo** o *patrón de ojo* es un método utilizado para el análisis del comportamiento de los enlaces de transmisión. Permite analizar las formas de onda de los pulsos que se propagan en un enlace de comunicaciones, para lograr observar sus formas, desfases, niveles de ruido, potencias de las señales... y con ello apreciar la distorsión del canal (ISI), la severidad del ruido o interferencia y los errores de sincronismo en el receptor. Ver figura 20 al modelo que se forma con las señales.

El diagrama de ojo es una herramienta muy útil para apreciar la distorsión introducida por el canal en nuestra señal de comunicaciones. El diagrama de ojo se obtiene dibujando superpuestas partes de la forma de onda siguiendo los disparos de una señal de reloj. La anchura de cada tramo es ligeramente superior que el período de símbolo  $T_s$ . En esta simulación el diagrama de ojo se obtiene con una anchura de  $2T_s$ . Los parámetros básicos en un diagrama de ojo son:

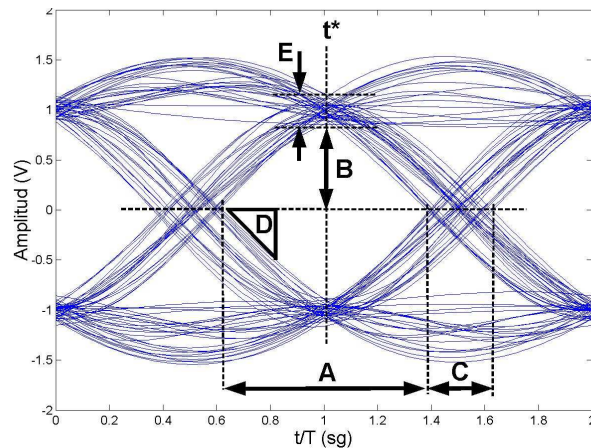


Figura 20. Diagrama de ojo.

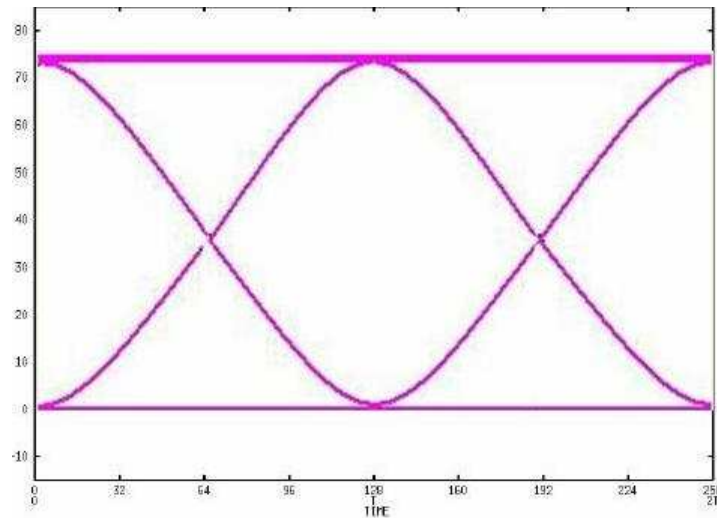
- A:** Intervalo de tiempo en el que se puede muestrear la señal para decidir.
- B:** Margen de ruido
- C:** Distorsión de los cruces por cero
- D:** Pendiente: Sensibilidad a errores en el instante de muestreo
- E:** Distorsión máxima
- t\*:** Instante óptimo de muestreo medido con respecto al origen de tiempos. Si el período de símbolo es  $T_s$ , la forma de onda se muestrearía en  $t^*$ , en  $t^*+T_s$ ,  $t^*+2T_s, \dots$  para recuperar la información transmitida.

Técnicamente, las máscaras preestablecidas definen regiones específicas en el diagrama de ojo, dentro de las cuales los pulsos u ondas no deben introducirse. Dichas máscaras son muy útiles, ya que se utilizan en el diseño de canales de transmisión, especificando por medio de ellas zonas no permitidas para las señales. Como ello se logra preestablecer un diseño óptimo de enlaces que cumplan ciertas características, ya que si la señal digital que se propaga por el canal se introduce en dichas regiones, se observa claramente problemas y errores en la transmisión.

### 1.6.1. DIAGRAMA DE OJO IDEAL.

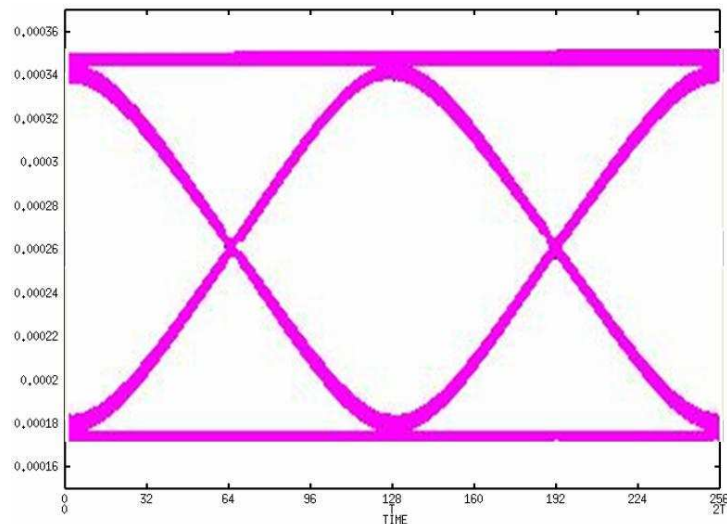
El siguiente patrón, mostrado en la figura, corresponde al obtenido en un enlace óptico ideal, es decir a tasa de transmisión bajas, sin considerar pérdidas por

atenuación, sin ningún tipo de ruido en el canal, sin considerar el desplazamiento de fase (jitter), debido por ejemplo en la fibra a la dispersión de velocidad de grupo (dependencia de la velocidad de grupo con la frecuencia). Por ello en un medio ideal en la figura 1.21 de ojo que se debería observar sería el siguiente.



**Figura 1.21.** Diagrama del ojo ideal

En simulaciones, los valores de atenuación han mostrado una grafica 1.22 ideal a una atenuación de 10 dB, con una transmisión de 10 Gbps.



**Figura 1.22.** Enlace con una atenuación de 10 [dB]

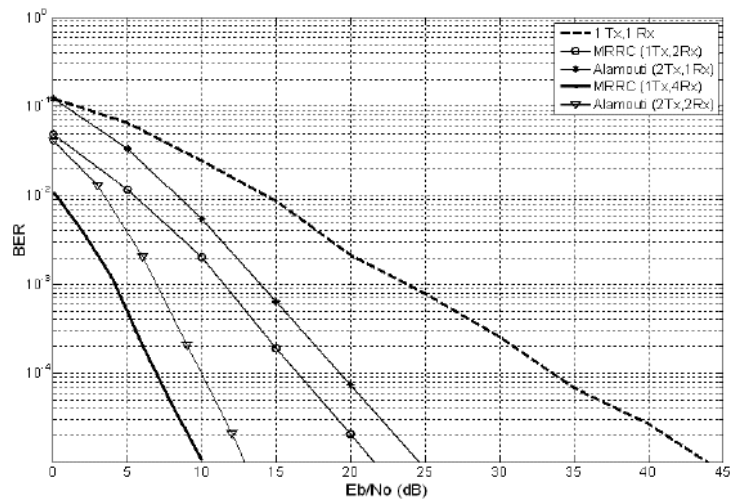
En cuanto a la capa física se refiere, la normativa G.984.2 establece en los sistemas GPON la utilización de corrección de errores en recepción, consecuencia de los errores en la transmisión, sin necesidad de retransmisión de la información original. Este sistema se denomina FEC ( Forward Error Correction) o corrección de errores

en retransmisión, y permite la corrección de errores añadiendo al mensaje original unos bits de redundancia. La fuente digital envía la secuencia de datos al codificador, encargado de añadir dichos bits de redundancia.

A la salida del codificador se obtiene la denominada palabra código. Esta palabra código es enviada al receptor y éste, mediante un decodificador adecuado y aplicando los algoritmos de corrección de errores, obtendrá la secuencia de datos original. Los dos principales tipos de codificadores usados son:

- Códigos bloque. La paridad en el decodificador se introduce mediante un algoritmo algebraico aplicado a un bloque de bits. El decodificador aplica el algoritmo inverso para poder identificar y, posteriormente corregir los errores introducidos en la transmisión.
- Códigos convolucionales. Los bits se van codificando tal y como van llegando al codificador mediante un proceso de filtrado digital, de modo que la redundancia se introduce a través de la memoria. La decodificación para éste tipo de código es compleja ya que en un principio, es necesaria una gran cantidad de memoria para estimar la secuencia de datos más probables para los bits. En la actualidad se utiliza el algoritmo de Viterbi, por su gran eficiencia en el consumo de recursos.

G.984.2 establece para GPON en relación con la tasa de error de bit y el sistema FEC, la definición de ganancia  $G$  de codificación, siendo ésta la diferencia entre la potencia óptica a la entrada del receptor con FEC, y la potencia óptica a la entrada del receptor sin FEC para una tasa de error de bit  $BER=10^{-10}$  a la potencia  $-10$ . En la siguiente grafica 1.23 se muestra



**Figura 1.23** Desempeño de sistemas de estructuras con diversidad espacial, en una transmisión BPSK coherente a través de un canal con desvanecimiento Rayleigh

De acuerdo al estándar G.984.2, la definición de Ganancia sirve para optimizar la potencia de transmisión. Así pues, dicha Ganancia puede utilizarse para reducir la potencia de transmisión, en aquellos casos donde la distancia entre el OLT y ONT.

### 1.6.2 Sistema de transmisión en GPON

Las redes PON de mayor avanzada en tecnología y prestaciones, son las redes GPON, que han aportado mucho en las transmisiones de datos entre los grandes caudales de tráfico. Estas redes poseen una estandarización y regularización. La primera versión del estándar de la ITU-T, aún sigue en desarrollo y no ha sido completado todavía. Dada la relevancia de este tipo de redes, es importante mencionarlos ya que a futuro, los despliegues pueden estar basados en esta tecnología.

La normativa ITU-T G.984.x, establece en sus diferentes variantes, requerimientos mínimos que deberán cumplir las redes GPON a diferentes niveles. Las normativas indican lo siguiente:

- **G.984 – Requerimientos mínimos de servicio.**

La normativa [16] hace referencia a los requisitos mínimos para otorgar un servicio GPON, Especifica todas las configuraciones de la velocidad de la línea, así como la capacidad del servicio.

- **G.984.2- Requerimientos del medio físico.**

La normativa [17] hace referencia a la especificación de las características mínimas que debe cumplir el transreceptor. Estas especificaciones vienen determinadas por la velocidad de la línea y por la clase de ODN. Además, incluye un campo de cabecera que controla la cantidad de información a enviar para cada velocidad del upstream, y se denomina Bursa overhead o cabecera de ráfaga de datos.

- **G.984.4 – Requerimiento de convergencia.**

La normativa [18] especifica los diferentes protocolos de convergencia en transmisión de datos y video, la capa física de operación y mantenimiento (O&M), y los diferentes mecanismos de ranking o alineación.

- **G.984.4 – Requerimiento de gestión.**

La normativa [19] hace referencia a los requerimientos de gestión e interfaz de manejo del ONT. Esta gestión está basada en la denominada OMNI (ONT Management and Control Inteface) del modo BPON, pero particularizada para la transmisión de paquetes GPON.

## **1.7 Servicios ofrecidos por la red FTTH**

Las redes FTTH, tal y como se ha especificado anteriormente, surgen como solución a la problemática de la convergencia de redes, ofreciendo servicios bajo un único soporte físico. Y es por ello, que las redes FTTH, deben de dar respuesta a este requerimiento, ofreciendo servicios convergentes. A diferencia de otras redes de telecomunicaciones, donde cada servicio viaja por canales diferentes a bajo protocolos de transmisión distintos, FTTH ofrece servicios generales de voz, datos y video integrados, bajo plataforma IP (IPTV). Comúnmente, este servicio integrado se denomina Triple Pack.

Triple – Pack [6] se define como el empaquetamiento de servicios y contenidos audio visuales (voz, banda ancha y televisión), bajo un mismo soporte físico (fibra óptica), y toda la información encapsulada en datagramas IP. Es la comercialización de los servicios telefónicos de voz junto al acceso de banda ancha, añadiendo además los servicios audiovisuales (canales de TV y pago por visión). Esta

plataforma posibilita un servicio más personalizado al usuario debido a que el cliente dispone de los servicios y contenidos que él desea utilizar en el momento idóneo; mejora la calidad de los servicios, llegando hasta los hogares la calidad digital; y por último ofrece nuevas posibilidades en telefonía y un abaratamiento del acceso a Internet.

### **1.7.1 Servicios de voz**

Los servicios de voz ofrecidos por las redes FTTH, varían en función del grado de contrato del cliente final, y son muy variados. Los más importantes son [6] [7]:

- POTS (plain old telephone services) o servicio de voz tradicional, ya sean líneas simples o dúplex.
- VoIP, ofrecido a 0,5 Mbps. Es el ejemplo más característico. Aunque se encuentra en uso, es de relativa reciente implantación. Gracias a las redes de fibra, sería posible la utilización de centralitas con multitud de llamadas IP simultáneas, es decir, gestión de llamadas a través de paquetes IP de centrales pequeñas a centrales pequeñas. Llegando al caso de utilizar solo una laptop que realice el trabajo.
- Voz alta calidad. ofrecido a 0,5 Mbps.

### **1.7.2 Servicios de datos.**

Los servicios de datos ofrecidos por las redes de FTTH son servicios de banda ancha. Así pues, se ofrece Internet a muy elevada velocidad, ofertando gran cantidad de posibilidades. Las más importantes son [6][7]:

Con la transmisión de datos, es posible desarrollar infinitas aplicaciones.

- Servicios de entretenimiento digital, que incluyen descarga de música y videos a tasa de velocidades elevadas. La descarga de videos o programas cada vez más perfeccionadas en calidad, se vería reducida en el tiempo convirtiéndose para el usuario transparente la comunicación, dadas las altas tasas de velocidad de red.
- Servicios de juegos en línea o gaming, que requieren un alto ancho de banda, dada la complejidad del software o la cantidad de usuarios conectados simultáneamente.



- Servicios generales de modernización y seguridad. A través de estas redes, se pueden supervisar y telecontrolar instalaciones, por ejemplo. El control remoto de estas instalaciones domóticas o industriales requieren un ancho de banda elevado, en función de nuevas resoluciones de cámaras de grabación y de los puntos a controlar.
- Líneas de datos privadas, incluso dentro del hogar.
- Servicio de mensajería instantáneas e emails con gran contenido de información. Aplicaciones tales como MSN Messenger, Yahoo Messenger, AOL o Skype, Facebook, Sonico, twitter, etc. Ofrecen este servicio, aunque aumentando las posibilidades entre usuarios y calidad del servicio.
- Acceso a información de forma rápida y eficaz. El acceso a redes de ordenadores como Internet, redes corporativas de empresa para teletrabajo, o la propia red del proveedor de servicios, aumentaría su velocidad a niveles muy elevados.
- Servicios P2P basados en el compartimiento de archivos multimedia.
- Servicio de operaciones medicas a larga distancia.
- Etc

El volumen total de consumo de ancho de banda de los datos es muy variado, por lo que evaluar su consumo es complicado. No obstante, el consumo medio por usuario para este tipo de servicios es del orden de 3Mbps.

### **1.7.3 Servicios de video.**

Los servicios de video ofrecidos por FTTH son casi los más atractivos desde el punto de vista doméstico, y en los que los operadores hacen más hincapié. Así pues, los servicios de video más importantes son los siguientes [6][7]:

- SDTV (Standard definition TV) o video de definición estándar sobre IPTV. Ofrece un servicio de difusión televisiva con más de 30 canales diferentes.
- HDTV (high definition TV) o video alta definición sobre IPTV. Para este tipo de difusión de video, se utiliza la codificación MPEG-4 a 7,5 Mbps;

o bien la codificación WM9, a 10Mbps. Ofrece un servicio con más de 10 canales.

- VoD (video on demand) o video bajo demanda o video a la carta. Este sistema permite al usuario el acceso a contenidos multimedia de forma personalizada. El usuario puede elegir en cualquier momento el programa que desea ver, sin depender de un horario fijo de programación; del mismo modo puede detener el programa y reanudarlo a voluntad.
- PPV (pay per view) o servicios de pago por sesión por evento. Es una modalidad de televisión de pago, en la que el abonado paga por los eventos individuales que desea ver. Estos pueden ser eventos deportivos, películas recién estrenadas, conciertos musicales importantes, etc.
- Servicios de radiodifusión FM, AM, etc.
- Posibilidad de video simultáneo de hasta 4 servicios diferentes por hogar, ya sean SDTV o HDTV, lo que suponen un total de consumo de hasta 14Mbps.
- Video conferencia, que al disponer de alta capacidad en la red, permite transmitir a un mayor número de imágenes por segundo, llegando a tasas que transmiten las televisiones convencionales, y con una resolución y calidad de audio superiores.
- Otros servicios poco implantados en nuestro país, tales como educación a distancia, o tele educación permite a los estudiantes asistir a clases desde sus casas, sin necesidad de asistir o desplazarse a centros docentes; o la telemedicina, donde se puede diagnosticar a un paciente sin que éste tenga que moverse de casa, y sin necesidad de acudir a la consulta. Incluso es posible realizar operaciones a largas distancias con la ayuda de la robótica. Y en fin la combinación de varios descubrimientos y la combinación de las telecomunicaciones es posible desarrollar muchos servicios no aplicados en la actualidad.

## **1.8 Internet Protocolo Televisión (IPTV)- Definiciones IP**

**IPTV** no es un protocolo en sí mismo. El IPTV o Televisión sobre el protocolo IP, ha sido desarrollado basándose en el video-streaming. Esta tecnología evolucionará en un futuro próximo la televisión actual, aunque para ello son necesarias unas redes mucho más rápidas que las actuales, para poder garantizar la calidad en el servicio.

A diferencia de la situación actual, el proveedor no emitirá sus contenidos esperando que el espectador se conecte, sino que los contenidos llegarán solo cuando el cliente los solicite.

La clave está en la personalización del contenido para cada cliente de manera individual. Esto permite el desarrollo del pago por visión o pago por evento o el video bajo demanda. El usuario dispondrá de un aparato receptor conectado a su ordenador o a su televisión y a través de una guía podrá seleccionar los contenidos que desea ver o descargar para almacenar en el receptor y de esta manera poder visualizarlos tantas veces como desee.

La programación que las empresas ofrecerán está basada tanto en los canales tradicionales, como en canales más específicos sobre un determinado tema, para que el cliente seleccione los de su gusto. Además se emitirán eventos deportivos o películas de estreno bajo pago por visión, es decir abonando una cantidad adicional a la tarifa del servicio para poder verlas. Se trata de comprar los contenidos que se deseen ver para confeccionar una televisión a la carta.

La IPTV gracias a sus características permitirá almacenar los contenidos para verlos las veces que se desee, pero además permitirá realizar pausas, avanzar, retroceder... etc. como si de una cinta de video o DVD se tratase. En el sector publicitario, al tratarse de información que llega a través de internet, podrían personalizar sus anuncios, para que el usuario con tan solo hacer un clic pueda acceder a la compra de sus productos...

Adicionalmente se espera dentro de los servicios, métodos de búsqueda y restricciones, es decir que los padres pueden bloquear cierto contenido en IPTV que solo puede ser mostrado previa verificación de una clave parental, así mismo puede buscar por ejemplo todos los programas, series o películas en que actúe tal o cual autor o que sean de tal o cual género

### **1.8.1 Requisitos en ADSL para HDTV**

Para que la IPTV pueda desarrollarse de una manera completa es necesario aumentar la velocidad de las conexiones actuales. Podemos diferenciar dos tipos de canal: de definición estándar SDTV o de alta definición HDTV. Para un canal del primer tipo sería necesario tener una conexión de 1.5 Mbps y para un canal del segundo tipo 8 Mbps. Si tenemos varios canales distintos en forma simultánea (por tener varios receptores de televisión por ejemplo) necesitaremos más ancho de banda.

A este ancho de banda hay que sumar el necesario para la conexión a internet. Estamos hablando de 4.5 Mbps para tres canales de SDTV u 11 Mbps para un canal HDTV y dos SDTV. Estos cálculos son usando MPEG-4 para la compresión/codificación del vídeo. La IPTV necesita unos valores técnicos para poder prestar su contenido sin inconvenientes, los valores son los siguientes:

- Ancho de banda: dependiendo del número de decodificadores, la velocidad del internet o telefonía IP (VoIP, deberá ser mayor en cada caso, los más comunes son: 4 Mbps, 7 Mbps, 8 Mbps, 10 Mbps, 12 Mbps, 14 Mbps, 16 Mbps y 18 Mbps. El hecho de que el ancho de banda sea más alto, provoca que la línea ADSL sea más sensible a caídas. Es decir, una línea con un perfil de 4 Mbps, si por ejemplo queda con valores de señal-ruido de 13dB y atenuación de 40, no soporta un perfil de 10 Mbps, ya que provoca mayor atenuación y menos señal-ruido.
- Señal-ruido: mayor de 13dB para garantizar la estabilidad del servicio (cuanto más alto el valor, de más calidad será el servicio)
- Atenuación: menor de 40dB, ya que si es demasiado alta, el servicio puede tener caídas constantes

He aquí la importancia de poseer redes potentes y capaces de poder ofrecer al cliente lo que necesita, el éxito de toda empresa. Las redes FTTH, permitirían combinar diferentes tecnologías a las redes de fibra, con la facilidad de tener acceso en los lugares donde la red está tendida y usuarios gozan de la misma. También es posible el alquiler de la fibra óptica para empresas que deseen ofrecer sus servicios por el mismo medio. Empresas de servicios básicos como la eléctrica, agua potable

estarían conectados para transmitir los datos del cliente conectándose a la fibra óptica.

## CAPITULO 2

### ASPECTOS TECNOLÓGICOS: SERVICIOS, EQUIPAMIENTOS Y DESPLIGUE.

El canal de transmisión para una buena comunicación en este tiempo se ha convertido en un aspecto relevante para servicios actuales y para los nuevos servicios que se pueden desarrollar en los sistemas FTTH. Se detallaran aspectos generales de la fibra óptica como son los elementos pasivos, activos y una aplicación a la fibra óptica que esta en auge. La fibra óptica como el elemento principal para el crecimiento en las Telecomunicaciones.

#### Introducción

La fibra óptica hasta el hogar FTTH, ha permitido la combinación de múltiples tecnologías para ofrecer diferentes aplicaciones. El hogar digital ya es posible al poder enviar datos de equipos electrónicos a través de la fibra y brindar comodidad a los clientes manteniendo el control de hogar. La fibra óptica permite generar trabajo a diferentes áreas y profesionales del sector.

Entre las tecnologías que se pueden incluir a través de la fibra y por ende a una casa digital al no existir limites en la transmisión de Datos pueden ser, estado meteorológico, paneles solares, cámaras de seguridad, estado de puertas y ventanas, detección de Umbral, control de persianas, alarmas técnicas, detección de movimiento, control de aire acondicionado, simulación de presencia, control de calefacción, luces automática, control de accesos, etc. En la figura 2.1 se observa las innumerables aplicaciones a la fibra óptica en el bien máspreciado de las personas, el hogar.



Figura 2.1 Servicios que son posibles al transmitir datos por fibra óptica

La fibra óptica monomodo en operación conjunta con tecnologías inalámbricas permiten una mayor facilidad en transmisión de información. Ver figura 2.2.

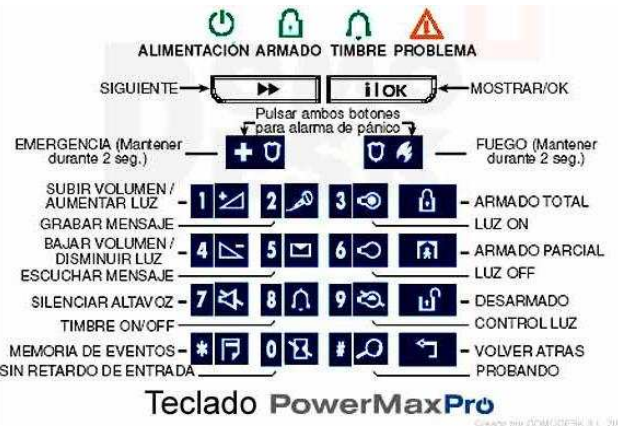
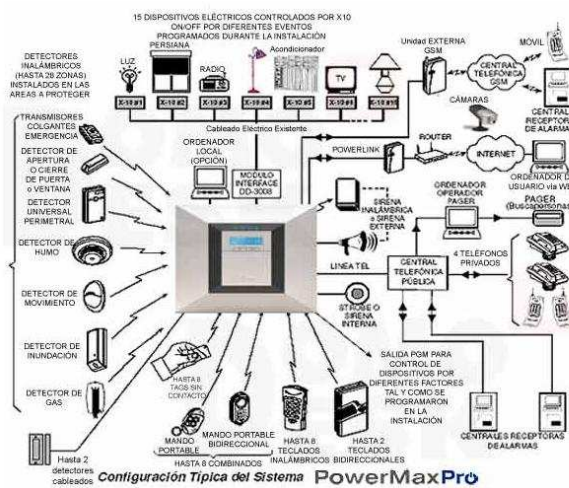


Figura 2.2 Tecnología trabajando en conjunto con redes FTTH

La fibra óptica es un medio de transmisión empleado habitualmente en los sistemas de transmisión FTTH, y en otras de datos en general. Se puede definir como un filamento muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el núcleo de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total en la aplicación de la Ley de Snell. La fuente de luz puede ser láser o un LED.

El fundamento por el cual se utiliza la fibra óptica como medio de transmisión en sistemas FTTH es principalmente un elevado ancho de banda que puede dar a un cliente. Precisamente la fibra óptica permite enviar una gran cantidad de datos a gran velocidad, mayor que las comunicaciones de radio y cable. Además, son el medio de transmisión inmune a las interferencias por excelencia, lo que aumenta sus ventajas técnicas a las ya comentadas.

### **2.1.1 Ventajas y limitaciones de la fibra óptica.**

Sistemas clásicos de comunicaciones, utilizan señales eléctricas soportadas por cable coaxial, cobre, radio, etc. En función del tipo de aplicación a dar servicio. Estos sistemas presentan algunos inconvenientes y limitaciones que hicieron necesario buscar otras vías para transmisión de datos, basándose en otro tipo de señales diferentes al electromagnetismo, como es el caso de la fibra óptica. El propio hecho que una fibra utilice la energía luminosa como medio de transmisión, presenta un conjunto importante de ventajas sobre otros soportes utilizados en la transmisión de señales analógicas y digitales.

#### **2.1.1.1 Fibra óptica y el actual cambio climático.**

Como motivo de la cumbre sobre el cambio climático en Copenhague, la repercusión mundial del evento en cuestión, el FTTH Council Europe requiere resaltar y destacar el potencial de la fibra óptica hasta el hogar (FTTH) para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. El FTTH Council Europe no quiso dejar pasar por alto la oportunidad que representa la celebración de la United Nations Climate Change Conference para difundir entre los representantes de más de 180 países las ventajas medioambientales del tendido de redes de acceso basadas en fibra óptica.

En concreto, la organización en la que participan fabricantes, asociaciones y entidades de la Administración con el objetivo de acelerar el despliegue de fibra en



Europa, pretende que los líderes mundiales consideren el potencial de la fibra hasta el hogar (FTTH- fiber to the home) para reducir las emisiones de carbono. Según un estudio encargado en 2008 por FTTH Council Europe a PricewaterhouseCoopers/Ecobilan sobre el impacto medioambiental del despliegue de fibra, este tipo de tecnología de banda ancha resulta altamente sostenible con una vida útil de al menos 30 años.

La reducción potencial de emisiones de carbono que ofrecen los nuevos servicios basados en FTTH, como la telemedicina o el teletrabajo es enorme. Durante los próximos 30 años supondrían ahorros acumulados superiores a un millón de toneladas de CO<sub>2</sub> por millón de abonados en Europa, como ciudadanos, como organización socialmente responsable. Los beneficios medioambientales de la fibra no se limitan a la reducción de las emisiones de carbono.

El estudio muestra además que el despliegue de redes de fibra tendría también un impacto positivo en la destrucción de la capa de ozono, el agotamiento de los recursos hídricos y la disminución de otras formas de emisiones de gas. Por otra parte, el despliegue de fibra puede ser útil para aquellos países que están formulando estrategias para reforzar sus economías mediante el acceso universal de banda ancha de alta capacidad, ya que les permite conseguir sus objetivos mediante infraestructuras de larga duración que al mismo tiempo ayudan a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### **2.1.2 Hitos y orígenes de la fibra óptica.**

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, no existía un conducto para hacer viajar los fotones originados por el láser. La posibilidad de controlar un rayo de luz, y poder dirigirlo hacia una trayectoria recta se conoce desde mucho tiempo.

En 1820, Augustin-Jean Fresnel ya conocía las ecuaciones que rigen la captura de la luz dentro de una placa de cristal lisa. Basándose en los estudios empíricos de estas ecuaciones, el físico irlandés John Tyndall descubrió que la luz podía viajar

dentro de un material (agua), curvándose por reflexión interna y en 1870 demostró sus estudios a los miembros de la Royal Society .Unos años más tarde, concretamente en 1880, Alexander G. Bell comenzó a realizar experimentos basados en los estudios de Tyndall, consiguiendo comunicarse con la luz a través del denominado Fototeléfono.

Sin embargó, la globalización de los conceptos anteriores, a lo que entonces se conocía como comunicación a través de cables de vidrio fue obra de D. Hondros y Meter Debye en 1910.A partir de este principio se llevaron a cabo una serie de estudios, en los que demostraron el potencial del cristal como medio eficaz de transmisión a larga distancia. Además, se desarrollaron una serie de aplicaciones basadas en dicho principio para iluminar corrientes del agua en fuentes públicas.

Más tarde, hacia 1930 J.L.Baird registró ciertas patentes que describían la utilización de bastones sólidos de vidrio en la transmisión de luz, para su empleo en un primitivo sistema de televisión de colores. El gran problema, sin embargo, era que las técnicas y los materiales utilizados no permitían la transmisión de luz con buen rendimiento. Las pérdidas eran muy elevadas y no existían dispositivos de acoplamiento óptico .

Hasta 1950 las fibras ópticas no comenzaron a interesar a los investigadores, como medio de transporte para muchas aplicaciones prácticas que estaban siendo desarrolladas. En 1952, el físico Narinder Singh Kapny, apoyándose en los estudios de John Tyndall, realizó experimentos que condujeron a la invención de la fibra óptica . Uno de los primeros usos de la fibra óptica fue emplear un haz de fibras para la transmisión de imágenes, que se usó en el endoscopio médico.

Usando la fibra óptica, se consiguió un endoscopio semiflexible, el cual fue patentado por la Universidad de Michigan en 1956. En este invento se usaron unas nuevas fibras forradas con un material de bajo índice de refracción, ya que antes de impregnaban con aceites o ceras. En esta misma época, se empezaron a utilizar filamentos delgados como el pelo que transportaban luz a distancias cortas, tanto en la industria como en la medicina, de forma que la luz podía llegar a lugares que de otra forma serían inaccesibles.

El único problema era que esta luz perdía hasta el 99% de su intensidad al atravesar distancias tan cortas como 9 metros de fibra. Charles Kao, en su tesis doctoral de 1956, estimó que las máximas pérdidas que debería tener la fibra óptica, para que resultará práctica en enlaces de comunicaciones, eran de 20dB/Km. El descubrimiento del LASER en 1960 por el físico norteamericano Theodore Harold Maiman, como elemento capaz de producir un rayo de luz visible, coherente y monocromático, fue un elemento que revolucionó las fuentes de emisión de luz.

Esto permitió que en 1966, un comunicado dirigido a la British Association for the Advancement of Standard Telecommunications de Inglaterra, afirmaran que se podía disponer de fibras de una transparencia mayor y propusieron el uso de fibras de vidrio y luz, en lugar de electricidad y conductores metálicos, en la transmisión de mensajes telefónicos. En el artículo teórico publicado por Kao-Hockman, se demostraron que las grandes pérdidas características de las fibras existentes se debían a impurezas diminutas intrínsecas del cristal.

Como resultado de los esfuerzos, se hicieron nuevas fibras con atenuación de 20 dB por kilómetro y una banda pasante de 1Ghz para un largo de 1 Km, con la perspectiva de sustituir los cables coaxiales. Sin embargo, el gran avance se produjo en 1970, cuando los investigadores Maurer, Keck, Schultz y Zimar que trabajaban para Corning Glass, fabricaron la primera fibra óptica aplicando impureza de titanio en silicio, con cientos de metros de largo con la claridad cristalina que Kao y Hockman habían propuesto. Las pérdidas llegaron a ser inferiores a 17 dB/km.

La utilización de fibras de 100  $\mu\text{m}$  de diámetro, envueltas en nylon resistente, permitirían la construcción de hilos tan fuertes que no puedan ser rotos con las manos. Hoy, ya existen fibras ópticas con atenuaciones tan pequeñas como de 1dB por kilómetro, lo que es muchísimo menor a las pérdidas de un cable coaxial. Poco después, Panish y Hayashi, de los laboratorios Bell, mostraron un láser de semiconductores que podía funcionar continuamente a temperatura ambiente. Además, John MacChesney y sus colaboradores, también de los laboratorios Bell, desarrollaron independientemente métodos de preparación de fibras.

En 1972, se fabrican las primeras fibras ópticas con núcleo líquido, obteniendo pérdidas de tan sólo 8 dB/Km, y tan sólo un año más tarde Corning Glass nuevamente obtiene Fibra Óptica de  $\text{SiO}_2$  pura, obteniendo atenuaciones de 4

dB/km, dejando obsoleta a las anteriores . Las investigaciones continúan, y en 1975 se descubrió que las fibras ópticas de  $\text{SiO}_2$  presentan mínima dispersión en torno a 1300 nm, lo cual suponía disponer de grandes anchuras de banda para la transmisión, en cuanto la dispersión del material de la fibra constituye un factor intrínseco limitativo.

Un año más tarde, en 1976, NTT y Fujikura son capaces de fabricar una fibra óptica de atenuación 0,47 dB/km en 13330 nm, muy próximo al límite debido a factores intrínsecos (Rayleigh) . Las nuevas posibilidades que ofrecían las fibras ópticas también estimularon la investigación hacia fuentes y detectores ópticos fiables, de bajo consumo y tamaño reducido. Además todas estas actividades marcaron un punto decisivo, ya que en ese momento si existían ya los medios para llevar las comunicaciones de fibra óptica fuera de los laboratorios, al campo de la ingeniería habitual.

A finales de la década de los 70, a medida que continuaban las investigaciones, las fibras ópticas mejoraron constantemente su transparencia. Así pues, el 22 de abril, General Telephone and Electronics envió la primera transmisión telefónica a través de fibra óptica, en 6Mbit/s en Long Beach, California. Tan sólo dos años más tarde, en 1979 las nuevas fibras fabricadas alcanzan atenuaciones de 0,12 sB/km con fibras monomodo en 1550 nm .

En 1980, las mejores fibras eran tan transparentes que una señal podía atravesar 240 kilómetros de fibra antes de debilitarse hasta ser indetectable. Pero las fibras ópticas con este grado de transparencia no se podían fabricar usando métodos tradicionales. El gran avance se produjo cuando se dieron cuenta de que el cristal de silicio puro, sin ninguna impureza de metal que absorbe luz, solamente se podía fabricar directamente a partir de componente de vapor, evitando de esta forma la contaminación que inevitablemente resultaba del uso convencional de los crisoles de fundición.

El progreso se centraba ahora en seleccionar el equilibrio correcto de componentes del vapor y optimizar sus reacciones. La tecnología en desarrollo se basaba principalmente en el conocimiento de la termodinámica química, una ciencia perfeccionada por tres generaciones de químicos desde su adopción original por parte de Willard Gibbs en el siglo XIX . También en 1980, la AT&T presentó a la

Comisión Federal de comunicaciones de USA una proyecto de un sistema de 978 kilómetros que conectaría las principales ciudades del corredor de Boston a Washington.

Cuatro años después, cuando el sistema comenzó a funcionar, su cable, de menos de 25 centímetros de diámetro, proporcionaba 80.000 canales de voz para conversaciones telefónicas simultáneas. Para entonces, la longitud total de los cables de fibra únicamente en USA alcanzaba 400.000 kilómetros ( lo suficiente para llegar a la luna) . Sin embargo, los enlaces demasiado grandes comenzaban a dar problemas.

Los amplificadores hasta entonces existente, debían de realizar la conversión de energía luminosa a eléctrica para poder amplificarla, y luego reconvertirla a energía luminosa para proseguir con su transmisión, lo que suponía pérdidas importantes. Ya en los años 80, aparecen los primeros amplificadores ópticos, que evitan este problema. El primer amplificador que marcó un antes y un después en el uso de la fibra óptica en conexiones interurbanas, reduciendo el costo de ellas, fue el amplificador óptico inventado por David Payne de la Universidad de Southampton y Emmanuel Desurvire en los laboratorios de Bell.

A ambos se les concedió la medalla Benjamín Franklin en 1988 . Gracias a ello, y a la aparición de la WDM (Multiplexación por División en Longitud de Onda), que permitía la multiplexación de varias señales luminosas por un mismo canal, permitieron fabricar los primeros cables que atravesaron los océanos del mundo, permitiendo transmisión de información diferente entre puntos muy alejados. El primer enlace transoceánico con fibra óptica fue el TAT-8 que comenzó a operar en 1988, usando un cristal tan transparente que los amplificadores para regenerar las señales débiles se podían colocar a distancias de más de 64 kilómetros.

Tres años después, otro cable trasatlántico duplicó la capacidad del primero. Los cables que cruzan el Pacífico también han entrado en funcionamiento .

Desde entonces, se ha empleado fibra óptica en multitud de enlaces transoceánicos o entre ciudades, y paulatinamente se va extendiendo su uso desde las redes troncales de las operadoras hacia los usuarios finales. Hoy en día, debido a sus mínimas pérdidas de señal y a sus óptimas propiedades de ancho de banda, la fibra

óptica puede ser usada a distancias más largas que el cable de cobre. Además, la FIBA por su peso y tamaño reducido, hace que sea muy útil en entornos donde el cable de cobre sería impracticable.

- 1970 Corning obtiene fibras con atenuación 20 dB/km.
- 1972 Fibra Óptica con núcleo líquido con atenuación 8 dB/km.
- 1973 Corning obtiene Fibra Óptica de SiO<sub>2</sub> de alta pureza con atenuación 4 dB/km y deja obsoletas a las núcleo líquido.
- 1976 NTT y Fujicura obtienen Fibra Óptica con atenuación 0,47 dB/km en 1300 nm, muy próximo al límite debido a factores intrínsecos ( Rayleigh).
- 1979 Se alcanzan atenuaciones 0,12 dB/km con fibras monomodo en 1550 nm. También en 1975 se descubría que las F.O. de SiO<sub>2</sub> presentan mínima dispersión en torno a 1300 nm, lo cual suponía disponer de grandes anchuras de banda para la transmisión, en cuanto la dispersión del material de la fibra constituye un factor intrínseco limitativo. Las nuevas posibilidades que ofrecían las F.O también estimularon la investigación hacia fuentes y detectores ópticos fiables, de bajo consumo y tamaño reducido.
- 1970 Primer láser de AlGaAs capaz de operar de forma continua a temperatura ambiente. Sin embargo, el tiempo de vida medio era de unas pocas horas. Desde entonces, los procesos han mejorado y hoy es posible encontrar diodos láser con más de 1.000.000 horas de vida media.
- 1971 C.A. Burrus desarrolla un nuevo tipo de emisor de luz, el LED, de pequeña superficie radiante, idóneo para acoplamiento en F.O. Por lo que se refiere a los fotodetectores, los diodos PIN y los de avalancha a base de Si, fueron desarrollados sin dificultades y ofrecían buenas características. Sin embargo, no podían aplicarse en longitud de onda ~ 1100 nm. El Ge era un buen candidato a ser utilizado para trabajar entre 1100 y 1600 nm, Ver figura 2.3.

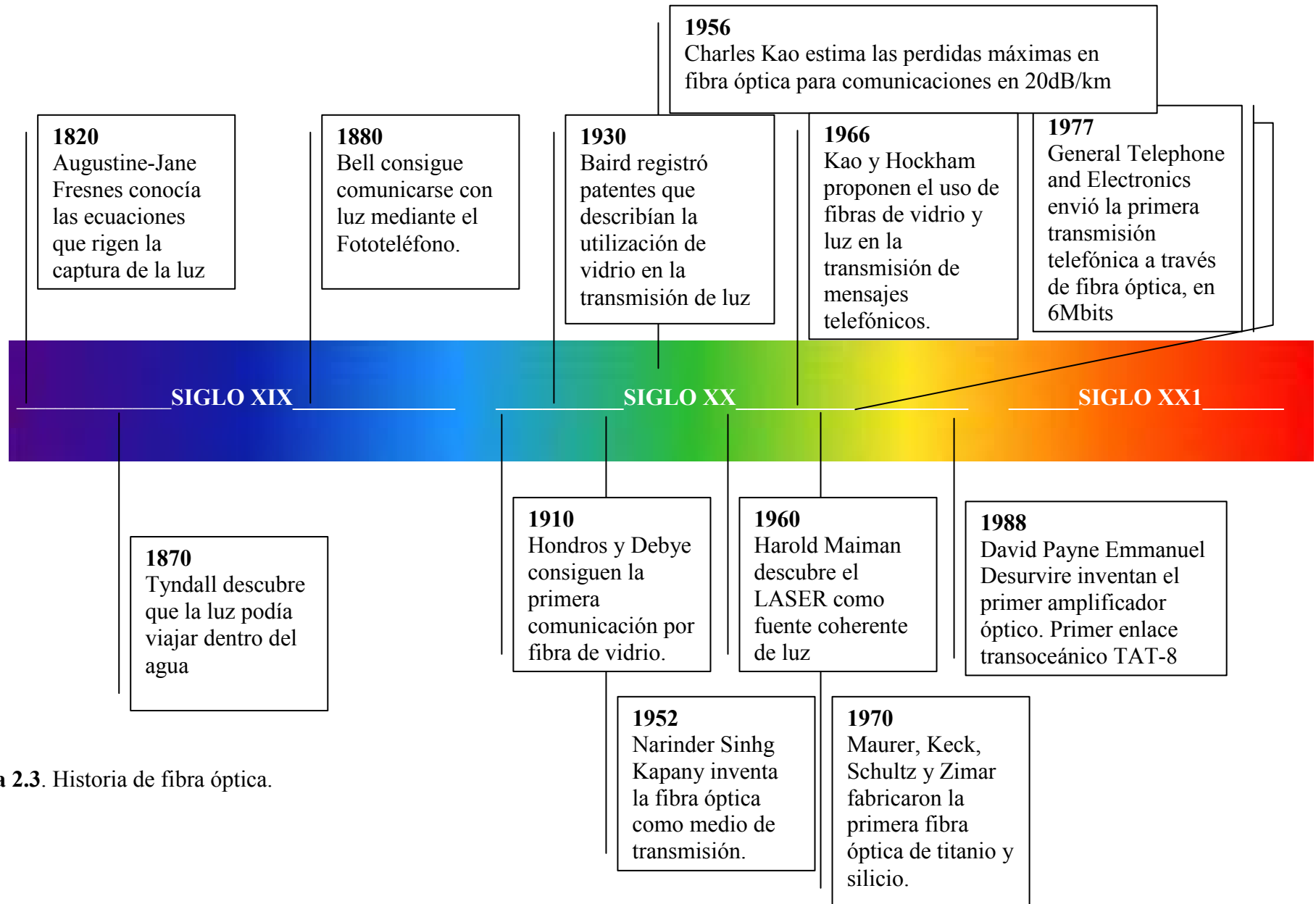


Figura 2.3. Historia de fibra óptica.

### 2.1.3 Características generales de la fibra óptica.

La fibra óptica, filamento de vidrio de alta pureza u otro material transparente. Es bastante flexible, con un grosor parecido a un cabello y con un índice de refracción elevado, que permite la transmisión de luz por medio de una serie reflexiones interiores. E general, la fibra transporta información en forma de haces de luz que pasan a través de ella de un extremo a otro, donde quiera que el filamento vaya, incluyendo incluso curvas y esquinas, sin interrupción alguna .

Así pues, este medio de transmisión permite el transporte de multitud de información, utilizándose para aplicaciones tales como télex, Internet, teléfono y televisión por cable; servicios actualmente ofrecidos por algunas operadoras en Ecuador y otras otros servicios que aún no están desarrollados. Señales mucho más eficaces que con cables de metal como el cobre. Una fibra óptica, puede estar recubierta por una envoltura de protección que le confiere la resistencia mecánica necesaria para su manipulación.

El conjunto formado por el núcleo ( la fibra), la envoltura óptica y la envoltura de protección se completa en sus extremos mediante conectores mecánicos, que facilitan el posicionamiento preciso de la fibra. Generalmente, las fibras ópticas se compactan y agrupan en haces formados por diferentes grupos de fibras de (4, 8, 16, 24, 32 ...etc) que a su vez, pueden reagruparse para formar un cable o guía de luz, recubierto por un revestimiento de material plástico que protege el conjunto, y cuya apariencia externa es la de un cable flexible.

Actualmente los grupos de fibra se realizan de acuerdo a la necesidad del cliente y se empaquetan hilos de 1, 2 y más fibras. En función de la designación del material que compone el núcleo de la fibra, se pueden distinguir distintos tipos :

- **Fibra de Silicio.** El cilicio, es la forma cristalina más pura del vidrio, y por su transparencia alcanza unas prestaciones excepcionales como vehículo de transmisión de la luz. En general, son muy buenas conductoras en el espectro visible y en el infrarrojo, y se utilizan para la transmisión de información a larga distancia (teléfono, video, cables transoceánicos, etc.)
- **Fibra de Vidrio.** Este tipo de fibra, posee tanto el núcleo como la envoltura óptica de vidrio, como índices de refracción diferentes. En general suelen



tener un diámetro pequeño, de 50 y 70 micras, y se agrupan en haces multifibra. Son aptas para la iluminación, señalización, transmisión de imágenes, endoscopias, etc.

- **Fibra de Plástico.** Está constituida por un núcleo de Plimetacrilato de Metilo y una envoltura óptica de polímetro plástico con índice de refracción diferente. Este tipo de fibra se emplea preferentemente en la iluminación y señalización, y ofrece ventajas en cuanto a uniformidad de transmisión del espectro visible, filtración de rayos ultravioletas e infrarrojos, resistencia mecánica, flexibilidad, peso reducido y facilidad de instalación.
- **Fibra de Núcleo Líquido.** Son de tecnología más reciente, y están compuestas por un núcleo líquido con una envoltura óptica de polímero plástico. Su principal aplicación se orienta hacia la iluminación en modo monofibra.

Entre las principales características de la fibra óptica, se puede mencionar que son muy compactas y ligeras. Además, posee bajas pérdidas de señal, proporcionan una amplia capacidad de transmisión y poseen un alto grado de confiabilidad debido a su inmunidad a las interferencias electromagnéticas de radio frecuencia. Una fibra óptica, no conduce señales eléctricas, por lo que son ideales para incorporarse en cables sin ningún tipo de componente conductivo y pueden incluso, usarse en condiciones peligrosas de alta tensión.

Por otra parte, poseen la capacidad de tolerar altas diferencias de potencial sin ningún circuito adicional de protección y no existen problemas debido a los cortocircuitos. La fibra posee un gran ancho de banda, que puede ser utilizado para incrementar la capacidad de transmisión con el fin de reducir el costo por canal. Así por ejemplo, un cable de 6 fibras ópticas, permite transportar las señales de más de 5000 canales diferentes o líneas principales, mientras que se requieren de 10.000 pares de cobre convencional para brindar el servicio a ese mismo número de usuarios.

Comparativamente, la transmisión por cobre posee la desventaja de que los propios cables ocupan un gran espacio en los conductos, y requieren grandes volúmenes de material, lo que también eleva los costos.

#### **2.1.4 Ventajas y desventajas de la fibra óptica.**

Los sistemas clásicos de comunicaciones, utilizan señales eléctricas soportadas por cable coaxial, cobre, radio, etc. En función del tipo de aplicación a dar servicio. Estos sistemas presentan algunos inconvenientes y limitaciones que hicieron necesario buscar otras vías para transmisión de datos, basándose en otro tipo de señales diferentes al electromagnetismo, como es el caso de la fibra óptica. El propio hecho que una fibra utilice la energía luminosa como medio de transmisión, presenta un conjunto importante de ventajas sobre otros soportes utilizados en la transmisión de señales analógicas y digitales.

##### **2.1.4.1 Ventajas de la fibra óptica.**

Las principales ventajas que ofrecen la fibra óptica, como medio de transmisión respecto a otros sistemas basados en señales electromagnéticas sobre metales son:

- ✓ El Dióxido de Silicio, materia prima para la fabricación de la fibra óptica, es uno de los recursos más abundantes del planeta..
- ✓ Permiten mayor velocidad de transmisión. Las señales recorren los cables de fibra óptica a velocidades muy cercanas a la velocidad de la Luz ( $c=3 \times 10^8 \text{m/s}$ ), mientras que las señales eléctricas recorren los cables a una velocidad entre el 50 – 70% de ésta, según el tipo de cable.
- ✓ La vida media operacional y el tiempo medio entre fallos de un cable de fibra óptica, son muy superiores a los cables de origen eléctrico.
- ✓ Las materias primas utilizadas en la fabricación de la fibra óptica son muy abundantes, y se espera que con el tiempo el costo de fabricación continúe reduciendo a un nivel similar a los cables metálicos, o tal vez menor a ellos.
- ✓ La fibra óptica presenta una mayor resistencia a los ambientes y líquidos corrosivos que los cables eléctricos.
- ✓ Permiten incrementar la capacidad de transmisión de datos añadiendo nuevos canales que utilicen longitudes de onda distintas a las ya empleadas, mediante técnicas de WDM.

- ✓ Es más difícil realizar conexiones para escuchar conversaciones sobre los cables de fibra óptica que con los cables eléctricos. Para ello sería necesario cortar la fibra y luego decodificar los datos transmitidos. Por otra parte, es posible realizarse escuchas a la fibra óptica utilizando un reflexómetro en el dominio del tiempo o bien, midiendo las pérdidas de señal.
- ✓ Los cables de fibra óptica son apropiados para utilizar en una amplia gama de temperaturas, dado que soportan mejor temperaturas externas que los cables de origen metálico.
- ✓ Suelen tener un diámetro de cable mucho menor. Además, son mucho más flexibles y más fáciles de instalar que los cables eléctricos.
- ✓ Los cables de fibra óptica, pesan la décima parte que los cables de cobre apantallados, por ejemplo. Esta es una consideración muy importante en aplicaciones militares, propias de barcos y aviones.
- ✓ No poseen riesgo de cortocircuito ni de otros daños de origen eléctrico.
- ✓ Importante, se consiguen tasas de error de bit típicas del orden de  $10^{-9}$  frente a las tasas del orden de  $10^{-6}$  que alcanzan los cables coaxiales. Esto permite aumentar la velocidad eficaz de transmisión de datos, reduciendo el número de retransmisiones a la cantidad de información redundante necesaria para detectar y corregir los errores en la transmisión.
- ✓ La atenuación en la transmisión aumenta con la distancia más lentamente que en el caso de los cables eléctricos, lo que permite mayores distancias entre repetidores de señal.
- ✓ No existen problemas de retorno a tierra, interferencias cruzadas y reflexiones como ocurre en las líneas de transmisión eléctricas.
- ✓ Presentan inmunidad total ante las interferencias electromagnéticas. La fibra óptica no procede ningún tipo de interferencia electromagnética y no se ve afectada por las radiaciones o por los impulsos

electromagnéticos nucleares (NEMP) que acompañan a las explosiones nucleares.

- ✓ Mayor capacidad de transmisión. Pueden lograrse velocidades superiores a los 2 Gbps, puesto que la velocidad de transmisión aumenta con la frecuencia de transmisiones. El poseer intrínsecamente un mayor ancho de banda, permite la transmisión simultánea de un gran volumen de información.

#### **2.1.4.2 Desventajas de la fibra óptica.**

La fibra óptica, no sólo tiene ventajas. También presenta ciertos inconvenientes, que no es conveniente olvidar, puesto que limitan en algunas circunstancias los estudios y proyectos de despliegue de algunas redes basadas en este medio de transmisión.

- Para obtener, desde la arena de cuarzo, el Dióxido de silicio purificado es necesaria mayor cantidad de energía que para los cables metálicos.
- Las fibras ópticas son muy delicadas lo cual requiere un tratamiento especial durante el tendido de cables.
- Corta vida de los emisores láser.
- Conversión electro-óptica. Antes de conectar una señal eléctrica de comunicación a una fibra óptica, la señal debe convertirse al espectro luminoso (850, 1310, 1550 nm). Esta conversión se lleva a cabo mediante un dispositivo electrónico en el extremo del transmisor, el cuál proporciona un formato propio a la señal e comunicaciones, y la convierte en señal óptica usando un LED o un LASER de estado sólido.
- Reparaciones. Un cable de fibra óptica que ha resultado dañado no es fácil de reparar. Así pues, los procedimientos de reparación requieren un equipo de técnicos con bastante destreza y habilidad en el manejo del equipamiento. En algunas situaciones, puede ser necesario reparar el cable entero. Este problema puede ser aún más complejo si cabe, dado el gran número de usuarios que cuentan con dicho servicio. Es importante, por ello, el diseño de un sistema propio con rutas físicamente diversas, que permita afrontar tales contingencias.

- Caminos homogéneos. Es recomendable un camino físico recto o semirecto para el cable de fibra. El cable, sin embargo se puede enterrar directamente en tierra, situar en tubos o disponer en cables aéreos a lo largo de dichos caminos homogéneos. Esto puede requerir la compra o alquiler de la propiedad por la que discurren, y algunos derechos sobre el camino puede ser imposibles de alquiler. Para localizaciones como terrenos montañosos o algunos entornos urbanos, pueden ser más adecuados otros métodos de comunicación sin hilos.
- Instalación especial. Debido a que la fibra óptica es predominantemente vidrio de silicio, son necesarias técnicas especiales para la ingeniería e instalación de los enlaces. Ya no se aplican los métodos convencionales de instalación de cables de hilos como, por ejemplo, soldadura, sujeción o crispado. También se requiere de un equipamiento adecuado para probar y poner en servicio los cables. Los técnicos tienen que ser entrenados y preparados previamente para la instalación y puesta en servicio de fibra óptica.

Con todo ello, se puede realizar una valoración inicial, en la que se destaca la multitud de beneficios que tiene la fibra respecto a los medios de transmisión eléctricos. A pesar de los inconvenientes que presenta, la mayoría de ellos van disminuyendo con el paso del tiempo. Al ser un medio de transmisión medianamente reciente, permite que la investigaciones sobre ello sean muy activas. Por parte, existen ya un soporte de fibra óptica lo suficientemente maduro como para dar servicio de muy altas prestaciones.

## **2.2 Fundamentos físicos de transmisión por fibra óptica: óptica geométrica.**

Los fundamentos físicos de funcionamiento de una fibra óptica, radican en la propagación de uno o varios haces de luz, a lo largo del conducto de vidrio de la fibra (el núcleo). La teoría que describe este tipo de transmisiones, es la relacionada con la propagación rectilínea de la luz, y por tanto, la óptica geométrica. A lo largo del siguiente punto, se explicará de forma detallada la teoría que describe la óptica geométrica, y en consecuencia, la naturaleza, transmisión y propagación de la luz a través de un medio cualquiera.

### **2.2.1 La óptica geométrica y la naturaleza de la luz.**

La óptica es la rama de la física que estudia el comportamiento de la luz, sus características y sus manifestaciones. Abarca el estudio de la reflexión, la refracción, las interferencias, la difracción, la formación de imágenes y la interacción de la luz con la materia. En la Edad Antigua se conocía la propagación rectilínea de la luz y la refracción y la reflexión. Se ocupa de la propagación y el comportamiento de la luz. En un sentido amplio, la luz es la zona del espectro de radiación electromagnética que se extiende desde los rayos X hasta las microondas, e incluso la energía radiante que produce la sensación de visión.

El estudio de la óptica, se divide en dos ramas fundamentales, la óptica física, que trata de la naturaleza de la luz y de sus características ondulatorias; y la óptica cuántica, que estudia la acción de las partículas que lleva la luz con la materia y todas las implicaciones cuánticas. Ambas estudian y describen el comportamiento de la luz en el medio de transmisión de la fibra óptica, y por tanto serán objeto de estudio .

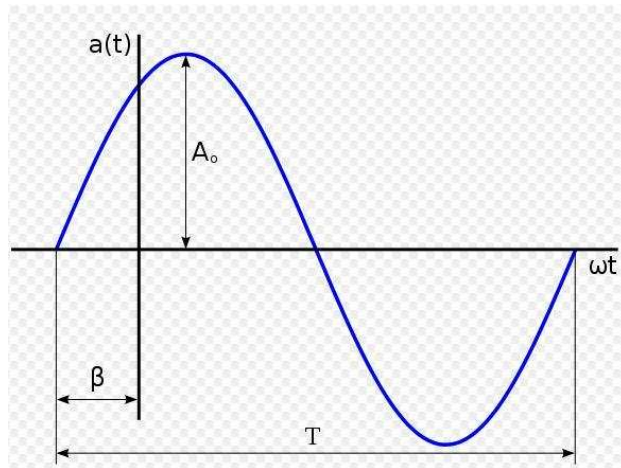
La energía radiante tiene una naturaleza dual, y obedece a leyes que pueden explicarse a partir de una corriente de partículas o paquetes de energía, los llamados fotones, o a partir de un tren de ondas transversales. El fotón, se emplea para explicar las interacciones de la luz con la materia que producen un cambio en la forma de energía, como ocurre con el efecto fotoeléctrico o la luminiscencia. Por otra parte, el concepto de onda suele emplearse para explicar la propagación de la luz y algunos de los fenómenos de formación de imágenes.

En las ondas de luz, como en todas las ondas electromagnéticas, existen campos eléctricos y magnéticos en cada punto del espacio, que fluctúan con rapidez. Como estos campos tienen, además de una magnitud, una dirección determinada, son cantidades vectoriales.

Los campos eléctricos y magnético son perpendiculares entre si y también perpendiculares a la dirección de propagación de la onda. La onda luminosa más sencilla, es una onda sinusoidal pura, denominada así porque una grafica de la intensidad del campo eléctrico o magnético trazas en cualquier momento a lo largo de la dirección de propagación seria la grafica de una función seno. Otros conceptos importantes en relación con las ondas son, por ejemplo, el numero de oscilaciones o

vibraciones por segundo en un punto de la onda luminosa, que se conoce como frecuencia.

También es importante el concepto de longitud de onda, que se define como la distancia a lo largo de la dirección de propagación entre dos puntos con la misma fase, es decir, puntos que ocupan posiciones equivalentes en la onda. Por ejemplo, la longitud de onda, es igual a la distancia que va de un máximo de la onda sinusoidal a otro, o de un mínimo, a otro, tal y como se muestra en la figura 2.4.



**Figura 2.4** Representación de una onda senoidal con período T

Existe otro parámetro más que define otra prioridad de las ondas, y es la velocidad de propagación de la misma, sobre un medio determinado. Así pues, existe una relación directa entre la velocidad de propagación, la frecuencia, y la longitud de onda. Se define la velocidad de una onda electromagnética como el producto de su frecuencia y su longitud de onda [32]:

$$V_p = \lambda \times f \quad [2-1]$$

En aquellos casos en los que la onda se propague a través del vacío, la ecuación anterior se particulariza asignando el valor de la velocidad de propagación la velocidad de la luz en el vacío  $c$ , siendo ésta de valor  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ , y  $\lambda_0$  la longitud de onda en el vacío:

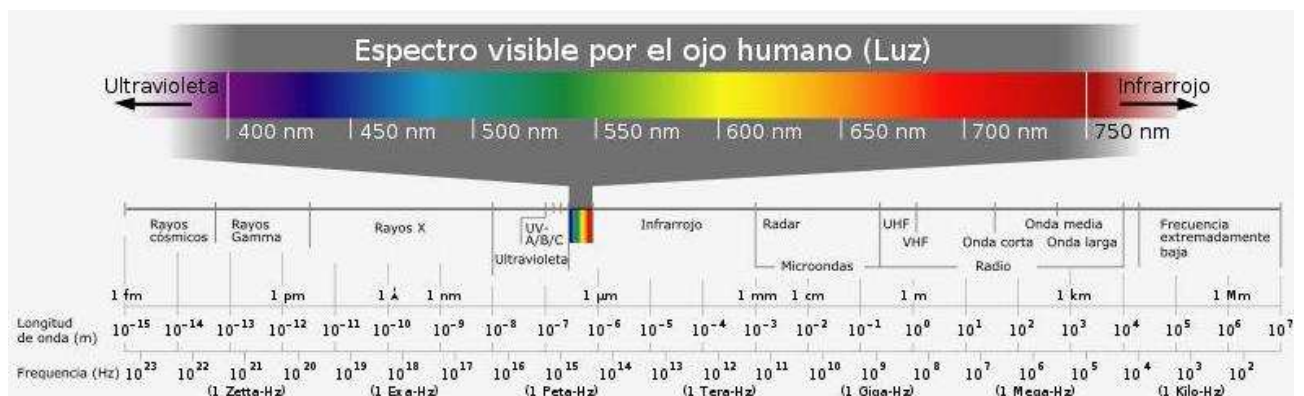
$$c = \lambda_0 \times f \quad [2-2]$$

La velocidad de una onda en el vacío siempre es la misma independientemente de la longitud de onda, y por tanto, es igual para todas. Sin embargo, la velocidad de la luz

en las sustancias materiales es menor que en el vacío, y varía para las distintas longitudes de onda. Este efecto se denomina dispersión. Así pues, la relación entre la velocidad de la luz en el vacío, y la velocidad de una longitud de onda determinada en una sustancia, se reconoce como índice de refracción de la sustancia para dicha longitud de onda.

El índice de refracción del aire es, por ejemplo de 1,00029, y apenas varía con la longitud de onda. En la mayoría de las aplicaciones resulta suficientemente preciso considerar que es 1. Existen por tanto, infinitos valores de  $\lambda$  y de  $f$  que satisfacen la ecuación (1), y de hecho, existe una gran variedad de ondas electromagnéticas cuyas características cumplen con dicha ecuación. Al conjunto de estas ondas, se le denomina espectro electromagnético, dado el enorme rango de variación de la longitud de onda .

A continuación, se muestra la figura 2.5 con el espectro electromagnético de luz, en función de la longitud de onda y la frecuencia (directamente relacionadas entre sí) .

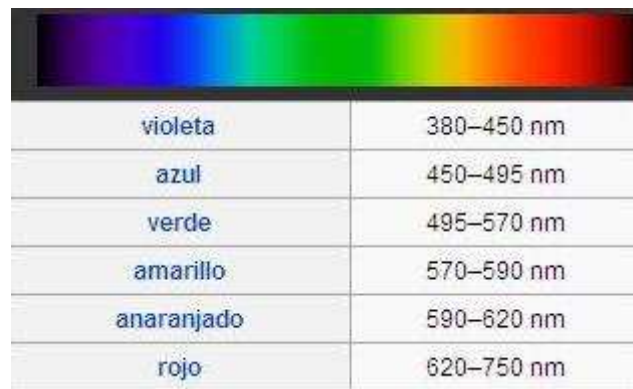


**Figura 2.5** Espectro electromagnético de la luz en función de la longitud de onda.

Tan sólo una parte muy pequeña del espectro es visible, es decir, que es capaz de ser percibida por el ojo humano. Estas ondas son aquellas cuyas longitudes de onda están comprendidas en el intervalo 4000 Å – 7000 Å ( $1 \text{ \AA} = 1 \times 10^{-10} \text{ m} = 0,1 \text{ nm}$ ) y correspondientemente sus frecuencias son frecuencias del orden de  $10^{14}$  Hz . Aunque no existen límites muy definidos entre las diferentes longitudes de onda, puede considerarse que la luz ultravioleta se encuentra entre los 10 y los 350 nm, en el extremo inferior con menor longitud de onda; y la radiación infrarroja (entre la que se encuentra la energía calorífica radiante) abarca entre los 750 nm y 1 mm, en el extremo con mayor longitud de onda.



A continuación, en la figura 2.6 un representativo del espectro de luz visible por el ojo humano, en función de la longitud de onda en Ångstrom .



**Figura 2.6** Espectro de la Luz visible.

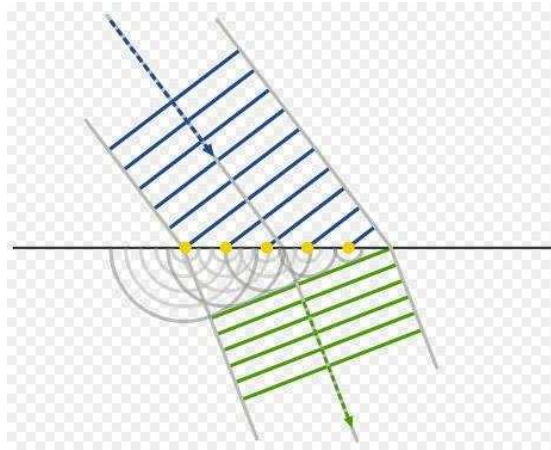
### 2.2.2 Principios de Huygens

Alrededor de 1860 el físico Danés Huygens propuso un mecanismo simple para trazar la propagación de ondas. Su construcción es aplicable a ondas mecánicas en un medio material. Todas las leyes de refracción de luz, se suelen deducir empleando la teoría ondulatoria de la luz, introducida en el siglo XVII por el matemático astrónomo y físico holandés Christiaan Hygens. En 1690 Hygens, publicó el “Traité de la Lumiere”, en el que describe por primera vez el principio que lleva su nombre:

*“ Afirma que todo punto de un frente de onda inicial puede considerarse como una fuente de ondas esféricas secundarias que se extienden en todas las direcciones con la misma velocidad, frecuencia y longitud de onda que el frente de onda del que proceden. Toda partícula de materia de la cual procede una onda, no sólo comunica su movimiento a la partícula que le sigue y que está sobre la recta o rayo que surge del punto luminoso, sino a todas las demás que están en contacto con ella y que se oponen a su movimiento. El resultado es que alrededor de cada una de estas partículas surge una onda cuyo centro se encuentra en dicha partícula”*

Así pues, el principio de Huygens afirma que todo punto de un frente de onda inicial puede considerarse como una fuente de ondas esféricas secundarias que se extienden en todas las direcciones con la misma velocidad, frecuencia y longitud de

onda que el frente de onda del que proceden. Ver en la figura 2.7 una representación de lo expuesto. Con ello se puede definir un nuevo frente de onda que envuelve las ondas secundarias. Dado que la luz avanza en ángulo recto a este frente de onda, el principio de Huygens puede emplearse para deducir los cambios de dirección de la luz.



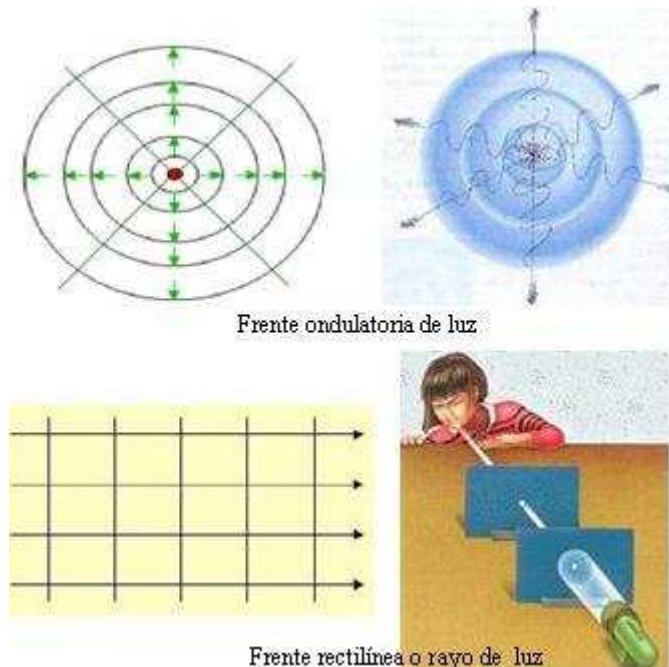
**Figura 2.7** Fenómeno de la onda, según Huygens

Cuando las ondas secundarias llegan a otro medio u objeto, cada punto del límite entre los medios se convierte en una fuente de dos conjuntos de ondas. El conjunto reflejado vuelve al primer medio, y el conjunto refractado entra en el segundo medio. El comportamiento de los rayos reflejados y refractados puede explicarse por el principio de Huygens. Si bien la luz está constituida por onda electromagnética, y por lo tanto es capaz de rodear los obstáculos, en la mayoría de las observaciones se puede concluir, que la luz se propaga en forma rectilínea.

Para tal fin, basta observar las sombras bien definidas proyectadas por los objetos o la trayectoria de la luz que entra en una instancia oscura a través de un hueco de una ventana. Por ello, la óptica permite representar la propagación de la luz mediante rayos en vez de ondas, aplicando el *Principio de Propagación Rectilínea de la luz*. El rayo se considera como la línea de avance de la onda, o dirección de propagación, de la energía radiante, y por tanto, perpendicular al frente de onda.

En la figura 2.8 siguiente, se muestra dos frentes de onda, y sus correspondientes rayos para los casos de ondas luminosas que se propagan por ondas esféricas a

partir de una fuente puntual, o por ondas planas a partir de una fuente puntual localizada en el infinito .



**Figura 2.8** Representación de frente de onda y rayos

En la óptica geométrica, se prescinde de la teoría ondulatoria de la luz, y se supone que la luz no se difracta. La trayectoria de los rayos a través de un sistema óptico se determina aplicando las leyes de reflexión y refracción. Pero para poder deducir las leyes de reflexión y refracción analíticamente, es necesario conocer previamente el principio de Propagación Rectilínea de la luz, o Principio de Fermat.

### **2.2.3 Principios de Fermat: camino óptico.**

“El trayecto seguido por la luz al propagarse de un punto a otro es tal que el tiempo empleado en recorrerlo es estacionario respecto a posibles variaciones de la trayectoria”. La velocidad de propagación de la luz en el vacío es de  $c=3 \times 10^8$  m/s. Tras muchas observaciones experimentales realizadas a partir del siglo XIX, por científicos como Fizeau o Foucault, y medidas posteriores, se ha demostrado que en diferentes medios de propagación (agua, vidrio, plástico, etc.), la luz posee diferentes velocidades de propagación menores que  $c$ .

Recordando las ecuaciones (1) y (2) de la sección 2.2.1, existe una relación directa entre la velocidad de propagación de la luz en el vacío, y la velocidad de propagación de la luz en un medio cualquiera. Se define como índice de refracción  $n$ , el número adimensional que equivale al cociente entre la velocidad de propagación de la luz en el vacío, respecto a la velocidad de propagación en otro medio:

$$N = c/v_p \quad [2-3]$$

Sustituyendo las ecuaciones (1) y (2), correspondientes a los valores de  $c$  y  $v_p$ , obtendríamos un nuevo valor de  $n$ , siendo éste:

$$N = c/v_p = \lambda_0 \cdot f / \lambda \cdot f = \lambda_0/\lambda \quad [2-4]$$

Así, si existen diferentes medios en los cuales se propaga con velocidades diferentes  $v_1, v_2, v_3, \dots, v_i$ , se puede asociar a estos medios, diferentes índices de refracción  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_i$ , de modo que  $c$ :

$$C = n_1 v_1 = n_2 v_2 = n_3 v_3 = \dots = n_i v_i \quad [2-5]$$

Se considera ahora un haz de luz que se propaga en un medio de índice de refracción  $n$  con velocidad de propagación  $v$ . Transcurrido cierto tiempo  $t$ , el haz habrá recorrido una distancia entre dos puntos cualquiera **A** y **B**, la distancia **AB**= $s$ , determinada por la siguiente ecuación cinemática:

$$\mathbf{AB} = s = v \cdot t \quad [2-6]$$

En el mismo instante de tiempo  $t$ , un haz de luz que se propaga por el vacío, recorrería una distancia entre ambos puntos del vacío **A0** y **B0** de **A0B0**= $s_0$  dada por la siguiente ecuación cinemática:

$$\mathbf{A0B0} = s_0 = c \cdot t \quad [2-7]$$

Dado que  $c > v$ ,  $v$ , entonces se cumple que:

$$S_0 > s \quad [2-8]$$

Teniendo en cuenta la relación de la ecuación (3), se puede extraer el valor del parámetro  $c$  función de  $v$  y  $t$ :

$$C = v \cdot n \quad [2-9]$$

Con el valor de la velocidad de la luz en función de la velocidad de propagación y el índice de refracción, podemos sustituir (9) en (7) de tal forma que:

$$A0B0 = s0 = c \cdot t = v \cdot t \quad [2-10]$$

La distancia recorrida, que ahora depende de estos tres parámetros, puede ser expresada de forma reducida, ampliando (6) sobre la ecuación anterior, por lo que se obtiene:

$$A0B0 = s0 = c \cdot t = n \cdot v \cdot t = n \cdot s \quad [2-11]$$

A esta relación directa entre el valor de  $s0$  y  $s$ , se le denomina  $\Delta$ , y se define como **camino óptico** de un haz de luz [32]:

$$\Delta = n \cdot s \quad [2-12]$$

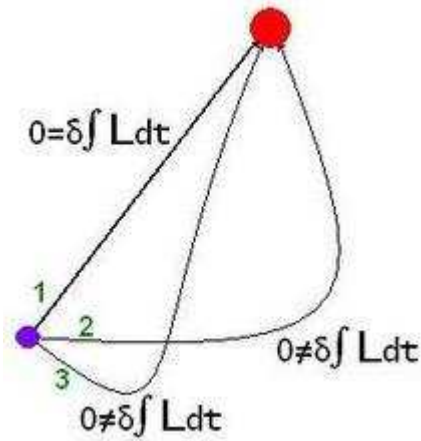
Si se expresa el trayecto recorrido por la luz entre dos puntos  $O1$  y  $O2$  por medio de una funcional llamada camino óptico definida como:

$$\mathcal{L}_{O_1 O_2}[n(\vec{r})] \quad [2-13]$$

la trayectoria real de la luz seguirá un camino extremal (máximo o mínimo) respecto de esta funcional:

$$\delta \mathcal{L}_{O_1 O_2}[n(\vec{r})] = \delta \int_{O_1}^{O_2} n(\vec{r}) ds = 0. \quad [2-14]$$

La característica importante, como dice el enunciado, es que los trayectos próximos al verdadero requieren tiempos aproximadamente iguales. En esta forma, el principio de Fermat recuerda al principio de Hamilton o a las ecuaciones de Euler-Lagrange. A continuación en la figura 2.9 un modelo de un camino óptico. De los tres rayos luminosos que sales del punto color morado, sólo los que hagan el camino óptico un extremal (máximo o mínimo) serán trayectorias reales de la luz.



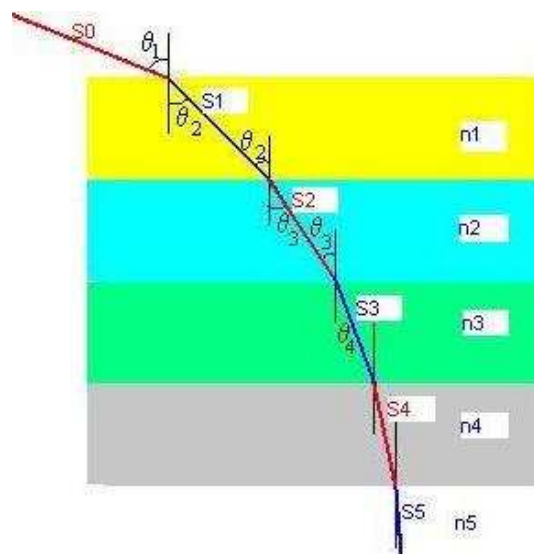
**Figura 2.9** Camino óptico

El concepto de camino óptico, es obviamente muy útil y necesario para comprar las trayectorias luminosas recorridas en distintos medios que, de otra manera, no serían comparables dado que en cada medio la luz se propaga con diferente velocidad. Sin embargo, los diferentes tramos de trayectoria pueden compararse a través de los caminos ópticos asociados a cada rayo en cada medio, dado que éstos corresponden a trayectorias recorridas en el vacío .

Así por ejemplo, si un haz de luz recorre varios tramos de trayectoria de longitudes  $s_1, s_2, s_3, \dots, s_i$ , en medios de índices de refracción con valores  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_i$ , respectivamente, la longitud de la trayectoria total se define como:

$$L = s_1 + s_2 + s_3 + \dots + s_i = \sum s_i \quad [2-15]$$

Gráficamente, las diferentes trayectorias y longitudes que recorre el haz de luz que pasa a través de diferentes medios de propagación, sería el que se muestra en la figura 2.10.



**Figura 2.10** Trayectoria de un haz por varios medios físicos.

El camino óptico realizado por el haz anterior, vendría dado por la suma de caminos ópticos de cada medio que atraviesa, y por lo tanto:

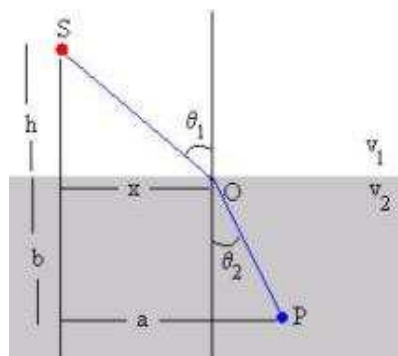
$$\Delta = n_1 \cdot s_1 + n_2 \cdot s_2 + n_3 \cdot s_3 + \dots + n_i \cdot s_i = \sum n_i \cdot s_i \quad [2-16]$$

El camino óptico  $\Delta$  correspondiente a la longitud de la trayectoria que la luz recorre en el vacío, en el mismo tiempo que emplea en recorrer la trayectoria de longitud  $l$  en los diferentes medios con índices de refracción  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_i$ . Sin embargo, estos cálculos realizados tan sólo son aplicables a una de las posibles propagaciones de un haz de luz determinando entre los puntos **A** y **B**. Es evidente que existen infinitas trayectorias que unen dichos puntos. Por tanto, es necesario establecer un criterio para seleccionar la trayectoria que realmente recorre el haz de luz de entre todas las posibles.

El Principio de Fermat permite establecer, de entre todas las trayectorias imaginables, cuál es la que efectivamente recorre el haz de luz. Este principio afirma que la trayectoria real de un haz de luz es la que se asocia al camino óptico máximo, mínimo o estacionario. Con relación al caso ilustrado anteriormente, este principio afirma que de todas las trayectorias que puedan realizarse entre los puntos **A** y **B**, la que realmente recorre la perturbación luminosa es aquella en que la luz emplea un tiempo mínimo. Por lo tanto, y para encontrar un mínimo de la función  $\Delta$ , su derivada debe ser nula:

$$d\Delta = d\left(\sum_i n_i \cdot s_i\right) \quad [2-17]$$

Así pues, particularizando el caso anterior para dos medios diferentes, la figura 2.11 detalla el haz del rayo, y sería el siguiente:



**Figura 2.11** Explicación matemática del Principio de Fermat.

Calculamos el tiempo que tarda un rayo de luz en ir de la fuente S hasta llegar al observador P. El primer tramo SO lo recorre en el primer medio con velocidad  $v_1$ , y el segundo tramo OP lo recorre en el segundo medio con una velocidad  $v_2$

$$t = \frac{SO}{v_1} + \frac{OP}{v_2} = \frac{\sqrt{h^2 + x^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{b^2 + (a-x)^2}}{v_2} \quad [2-18]$$

El tiempo  $t$  es una función de la posición  $x$  de O. La función  $t(x)$  tendrá un mínimo en la posición  $x$  en la que se cumple que la derivada primera de  $t$  respecto de  $x$  a cero

$$\frac{dt}{dx} = \frac{x}{v_1 \sqrt{h^2 + x^2}} + \frac{-(a-x)}{v_2 \sqrt{h^2 + (a-x)^2}} = 0 \quad [2-19]$$

Esto es equivalente a escribir:

$$\frac{\sin \theta_1}{v_1} = \frac{\sin \theta_2}{v_2} \quad [2-20]$$

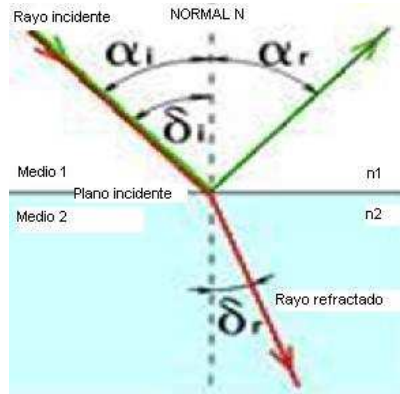
Que es la ley de Snell de la refracción.

#### 2.2.4 Reflexión y refracción

Si un rayo de luz que se propaga a través de un medio homogéneo índice sobre la superficie de un segundo medio homogéneo, parte de la luz es reflejada y parte entra como rayo refractado en el segundo medio, donde puede o no ser absorbido. La cantidad de luz reflejada depende de la relación entre los índices de refracción de ambos medios. Así pues, se puede afirmar que el haz de luz que incide sobre otro medio con diferente composición o velocidad de transmisión de la luz, se divide en dos sub rayos, uno reflejado dentro del primer medio, y otro refractado, que pasa al segundo medio.

Este último, se quiebra en la frontera como consecuencia de la composición del medio. El hecho de que un rayo se refracte, le hace cambiar, a parte del módulo y la dirección de propagación, también la velocidad y con ello la longitud de onda. En la figura 2.12 se representa gráficamente la incidencia de un rayo sobre una superficie con diferente velocidad de propagación a la del medio por el que circula:





**Figura 2.12** Ley de la refracción y reflexión

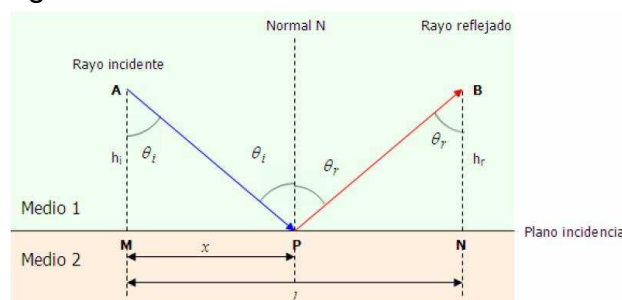
De la teoría que un rayo se subdivide en dos haces de luz que viajan sobre medios diferentes, se pueden extraer dos leyes fundamentales de la física óptica que cuantifican ambos sucesos: la ley de la Reflexión, y la Ley de la Refracción, también denominada Ley de Snell.

#### 2.2.4.1 Ley de la Reflexión.

La Ley de Reflexión [31], ocurre cuando una onda choca contra una superficie de separación entre dos medios en la que rebota, de manera que regresa inicial. Básicamente, existen dos leyes básicas para el estudio del fenómeno de la reflexión:

- Un rayo de la onda incidente y el rayo correspondiente de la onda reflejada están contenidos en el mismo plano. Este plano es perpendicular a la superficie de separación entre los dos medios en el punto de incidencia.
- Los ángulos que forman el rayo incidente y el rayo reflejado con la recta perpendicular a la frontera son iguales. Estos ángulos se denominan, respectivamente, ángulo de incidencia y ángulo de reflexión. Es decir ángulo de incidencia=ángulo de reflexión.

Se considerará un haz de luz que se propaga desde un punto genérico. A hacia otro punto B, reflejándose sobre un espejo plano ( y por tanto, sin reflexión existente), tal y como se indica en la figura 2.13.



**Figura 2.13** Ley de la reflexión

En la figura, **APB** es una de las posibles trayectorias para un haz de luz que se propaga de **A** hacia **B** reflejándose sobre el plano de incidencia, siendo éste un espejo plano. Se pueden dibujar infinitas trayectorias para el haz de luz incidente, y es claro que éstas dependen del punto del espejo en el cuál vaya a reflejarse el haz, de manera que si se determina la posición del punto **P**, se habrá determinado la trayectoria real. En la figura 48 se han trazado perpendiculares al espejo desde los puntos **A** y **B**, hasta el corte con la perpendicular, siendo éstos los puntos **M** y **N** respectivamente. Conocidos estos 4 puntos se puede identificar la posición del punto **P** a través de su distancia  $x$  respecto al punto **M**.

Para facilitar los cálculos, se denominarán las rectas **AM**= $h_i$ ; **BN**= $h_r$ , **MN**= $l$ ; y **MP**= $x$ , luego entonces **PN**= $l-x$ , La longitud de la trayectoria L del haz de luz, se puede calcular ahora analíticamente como:

$$\mathbf{L} = \mathbf{AP} + \mathbf{PB} = \sqrt{h_i^2 + x^2} + \sqrt{h_r^2 + (l-x)^2} \quad [2-21]$$

Por otra parte, el camino óptico asociado a la trayectoria, sería el siguiente:

$$\Delta = n \cdot \mathbf{L} = n \cdot \sqrt{h_i^2 + x^2} + n \cdot \sqrt{h_r^2 + (l-x)^2} \quad [2-22]$$

siendo  $n$ , el índice de refracción el medio en el cuál esté sumergido el espejo sobre el que incide el rayo inicial.

Dado que la trayectoria de la luz depende de la posición del punto P, o sea del valor de  $x$ , se puede encontrar la trayectoria real aplicando el Principio de Fermat, es decir, imponiendo la siguiente condición de que la derivada de la función  $\Delta$  sea cero:

$$\frac{d\Delta}{dx} = \frac{d}{dx} \left( n \cdot \mathbf{L} = n \cdot \sqrt{h_i^2 + x^2} + n \cdot \sqrt{h_r^2 + (l-x)^2} \right) = 0 \quad [2-23]$$

Por lo tanto, operando quedaría la siguiente ecuación:

$$\frac{d\Delta}{dx} = -\frac{2nx}{2\sqrt{h_i^2 + x^2}} + \frac{2n(l-x)}{2\sqrt{h_r^2 + (l-x)^2}} = 0 \quad [2-24]$$

De donde se obtiene que:

$$\frac{x}{\sqrt{h_i^2 + x^2}} = \frac{(l-x)}{\sqrt{h_r^2 + (l-x)^2}} \quad [2-25]$$

Aplicando ecuación (21), se obtiene:

$$\frac{x}{\sqrt{h_1^2 + x^2}} = \frac{(l-x)}{\sqrt{h_2^2 + (l-x)^2}} \rightarrow \frac{\mathbf{MP}}{\mathbf{AP}} = \frac{\mathbf{PN}}{\mathbf{PB}} \quad [2-26]$$

Por lo tanto, del dibujo se obtiene que:

$$\frac{\mathbf{MP}}{\mathbf{AP}} = \text{sen } \theta_i$$

$$\frac{\mathbf{PN}}{\mathbf{PB}} = \text{sen } \theta_r \quad [2-27]$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación (35) se obtiene finalmente la siguiente ecuación de igualdad:

$$\text{sen } \theta_i = \text{sen } \theta_r \quad [2-28]$$

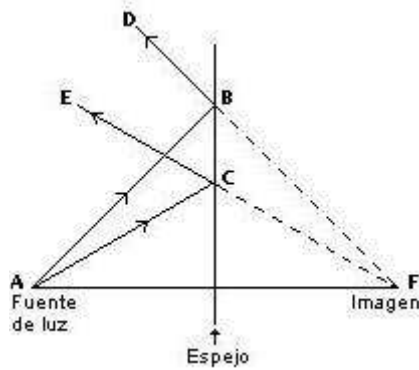
Esta relación, sólo se cumple cuando los ángulos de incidencia y reflexión son iguales. Por tanto, a la condición que implica que la trayectoria real del haz de luz es la descrita por el Principio de Fermat, y por tanto  $\frac{d\Delta}{dx} = 0$ , se denomina Ley de Reflexión [31] y queda definida como:

$$\theta_i = \theta_r \quad [2-29]$$

Además, esta ley afirma también que el rayo incidente  $i$ , el rayo reflejado  $r$ , y la normal  $\mathbf{N}$  en el punto de incidencia, se encuentran en un mismo plano  $\Pi$ , y además, por encontrarse en el mismo medio, mantiene su velocidad y su longitud de onda.

$$i, r, \mathbf{N} \in \Pi \quad [2-30]$$

Existen ciertas particularidades de esta ley, en función de la composición y características del medio sobre el que incide el rayo inicial. Así pues, si la superficie del segundo medio es lisa, entonces puede actuar como un espejo y producir una imagen reflejada. A continuación, se muestra una figura donde pone de manifiesto el comportamiento de los rayos o haces de luz que inciden sobre una superficie lisa:



**Figura 2.14** Reflexión en un espejo plano

Como se observa en la figura 2.14 la fuente de luz es el objeto **A**. Dicho punto **A** emite rayos en todas direcciones, y dos de ellos han incidido sobre el espejo **N** (normal) en dos puntos: **B** y **C**. El hecho de que el medio 2 sea de superficie lisa, le permite actuar como un espejo, reflejándose los rayos incidentes y originándose los rayos **CD** y **BE**. Para un observador situado delante del espejo. En este caso, en el que el espejo es plano, la imagen del objeto parece situada detrás del espejo, y separada de él por la misma distancia que hay entre éste y el objeto que está delante.

De las leyes de reflexión, se deduce que **CF** y **BF** forman el mismo ángulo con la superficie del espejo que **AC** y **AB**, además, que todos los rayos, incidentes, reflejados, la normal, el foco **A** y la imagen **F**, se encuentran en el mismo plano  $\Pi$ :

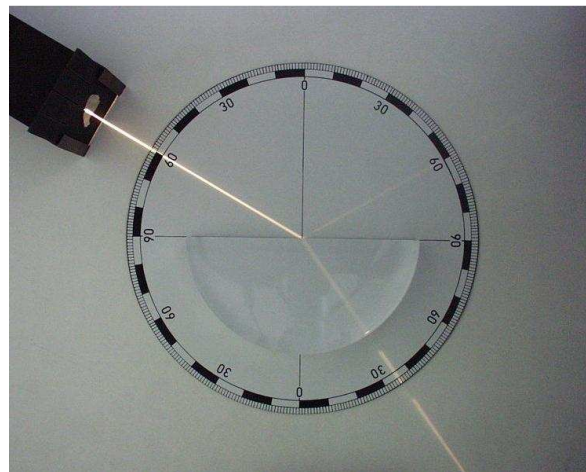
$$\text{ang (CF)} = \text{ang (AC)} \quad \text{ang (BF)} = \text{ang (AB)} \quad [2-31]$$

$$AC, AB, CE, CD, A, F, N \in \Pi \quad [2-32]$$

Si por el contrario, la superficie del Segundo medio es rugosa, las normales a los distintos puntos de la superficie se encuentran en direcciones aleatorias. En este caso, los rayos que se encuentren en el mismo plano al salir de una fuente puntual de luz, tendrán un plano de incidencia, y por tanto de reflexión, aleatorio. Esto hace que se dispersen y no puedan formar una imagen reflejada al otro lado.

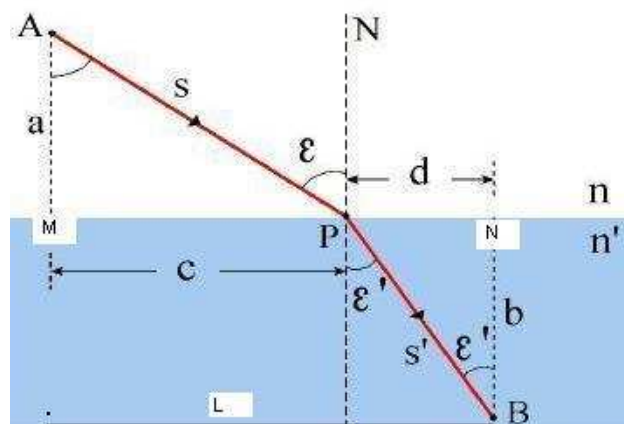
### 2.2.4.2 Ley de Snell o ley de la refracción.

La ley de Snell es una fórmula simplemente utilizada para calcular el ángulo de refracción de la luz al atravesar la superficie de separación entre dos medios de propagación de la luz ( o cualquier onda electromagnética) con índice de refracción distinto. Ver figura 2.15 respecto a lo anunciado. El nombre proviene de su descubridor, el matemático holandés Willebrord SNEM van Roten (1580 – 1626) La denominación “Snell” debido a su apellido pero le pusieron dos “l” por su nombre Willebrord el cual lleva dos “l”.



**Figura 2.15** Refracción de luz.

Para enunciar y demostrar matemáticamente la ley de snell, se considera el caso de un haz de luz que se propaga desde un punto **A** situado en un medio 1 de índice de refracción  $n_1$ , hacia un punto **B** situado en un medio 2 de índice de refracción  $n_2$ . Para este caso, también se pueden imaginar infinitas trayectorias, las cuales difieren por la posición del punto **P** sobre la interfase en la cual incide la luz, tal y como se indica en la figura 2.16



**Figura 2.16** Ley de Snell

En la figura 39, **APB** es una de las posibles trayectorias para un haz de luz que se propaga de **A** hacia **B** atravesando la interface entre dos diferentes medios de propagación. Se han trazado perpendiculares al plano de incidencia desde los puntos **A** y **B**, hasta el corte con la perpendicular, siendo éstos los puntos **M** y **N** respectivamente. Pues conocidos estos 4 puntos, se puede identificar la posición del punto **P** a través de su distancia  $x$  respecto al punto **M**.

Para facilitar los cálculos, se denominarán las rectas **AM=hi**; **BN=hr**; **MN=l**; y **MP=x**, luego entonces **PN=l - x**. La longitud de la trayectoria **L** del haz de luz, se puede calcular ahora analíticamente como:

$$\mathbf{L} = \mathbf{L}_1 + \mathbf{L}_2 = \mathbf{AP} + \mathbf{PB} = \sqrt{h_i^2 + x^2} + \sqrt{h_r^2 + (l - x)^2} \quad [2-33]$$

Por otra parte, el camino óptico asociado a la trayectoria, sería el siguiente:

$$\Delta = \sum_i n_i \cdot \mathbf{L}_i = n_1 \cdot \sqrt{h_i^2 + x^2} + n_2 \cdot \sqrt{h_r^2 + (l - x)^2} \quad [2-34]$$

siendo  $n_1$  y  $n_2$ , los índices de refracción de los medios 1 y 2 respectivamente.

Dado que la trayectoria de la luz depende de la posición del punto **P**, o sea del valor de  $x$ , se puede encontrar la trayectoria real aplicando el Principio de Fermat, es decir, imponiendo la siguiente condición de que la derivada de la función  $\Delta$  sea cero:

$$\frac{d\Delta}{dx} = \frac{d}{dx} \left( \sum_i n_i \cdot \mathbf{L}_i \right) = 0 \quad [2-35]$$

Por tanto, sustituyendo la ecuación [34] sobre la anterior, se obtiene:

$$\frac{d\Delta}{dx} = \frac{d}{dx} \left( n_1 \cdot \sqrt{h_i^2 + x^2} + n_2 \cdot \sqrt{h_r^2 + (l - x)^2} \right) = 0 \quad [2-36]$$

Operando matemáticamente la derivada anterior, se obtiene:

$$\frac{d\Delta}{dx} = -\frac{2n_1x}{2\sqrt{h_1^2 + x^2}} + \frac{2n_2(l-x)}{2\sqrt{h_2^2 + (l-x)^2}} = 0 \quad [2-37]$$

Dado que la suma de ambas fracciones ha de ser cero, se convierte la ecuación anterior en una simple igualdad de ecuaciones:

$$n_1 \cdot \frac{x}{\sqrt{h_1^2 + x^2}} = n_2 \cdot \frac{(l-x)}{\sqrt{h_2^2 + (l-x)^2}} \quad [2-38]$$

Aplicando la ecuación [33], se obtiene:

$$n_1 \cdot \frac{x}{\sqrt{h_1^2 + x^2}} = n_2 \cdot \frac{(l-x)}{\sqrt{h_2^2 + (l-x)^2}} \rightarrow \frac{\mathbf{MP}}{\mathbf{AP}} = \frac{\mathbf{PN}}{\mathbf{PB}} \quad [2-39]$$

Observando el dibujo de la figura 2.16, se puede extraer los valores de ambas fracciones, aplicando valores trigonométricos a las mismas:

$$\frac{\mathbf{MP}}{\mathbf{AP}} = \text{sen } \boldsymbol{\varepsilon}$$

$$\frac{\mathbf{PN}}{\mathbf{PB}} = \text{sen } \boldsymbol{\varepsilon}' \quad [2-40]$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación [39] se obtiene finalmente, siguiente ecuación de igualdad, que enuncia la denominada Ley de Snell o Ley de la Refracción

$$n \cdot \text{sen } \boldsymbol{\varepsilon} = n' \cdot \text{sen } \boldsymbol{\varepsilon}' \quad [2-41]$$

Así pues, la Ley de Snell afirma que el producto del índice de refracción del primer medio y el seno del ángulo de incidencia de un rayo, es igual al producto del índice de refracción del segundo medio y el seno del ángulo de refracción. Además, el rayo incidente, el rayo refractado y la normal a la superficie de separación de los medios en el punto de incidencia están en un mismo plano II:

$$i, r, N \in \text{II} \quad [2-42]$$

En general, el índice de refracción de una sustancia transparente más densa, es mayor que el de un material menos denso, es decir, la velocidad de la luz es menor en la sustancia de mayor densidad. Por tanto, si un rayo índice de forma oblicua sobre un medio con índice de refracción mayor, se desviará hacia la normal, mientras que si incide sobre un medio con un índice de refracción menor, se desviará alejándose de ella .

El hecho de que la luz se refracte, y cambie de dirección en el espacio de propagación, se debe a una variación de su velocidad de propagación en el nuevo medio. Como la frecuencia de vibración de la onda es siempre constante, no varía al pasar de un medio a otro; lo que cambia es la longitud de onda de la luz como consecuencia de la variación en su velocidad. Por lo tanto, cuando la onda incidente pasa al segundo medio y se refracta, su nueva longitud de onda viene determinada por la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{v_p}{T} = v_p \cdot f \quad [2-43]$$

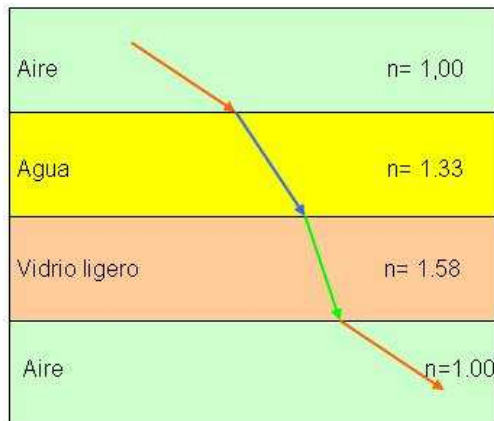
En la tabla 2.1 se muestra una tabla con los índices de refracción de algunos medios más comunes de propagación de la luz:

**Tabla 2.1** Índice de refracción de varios medios.

MEDIO	INDICE DE REFRACCION
Vacio	1
Aire	1,00029
Agua	1,33
Politetrafluoretileno (TFE)	1,35
Etanol	1,36
fluorita (CaF <sub>2</sub> ) 1	1,43
Cuarzo fundido	1,46
Acrílico	1,49
Fibra óptica	1,5
Vidrio crown	1,52
Sal gema (NaCl) 1	1,54
Cuarzo (SiO <sub>2</sub> ) 1	1,54
Vidrio flint ligero	1,58
Policarbonato 1	1,59
Poliestiermo (PS) 1	1,59
Vidrio flint medio	1,62
Sulfuro de carbono 1	1,63
Polisulfonas 1	1,63
Vidrio flint dendo	1,66
Espato de Islandia (CaCO <sub>3</sub> ) 1	1,66
Zafiro	1,77
Diamante	2,42
Acetato de celulosa 1	1,46 – 1,50
Polietileno	1,51 – 1,54
Nilón (nylon)	1,52 – 1,53
Poli-cloruro de vinilo (PVC) 1	1,52-1,55

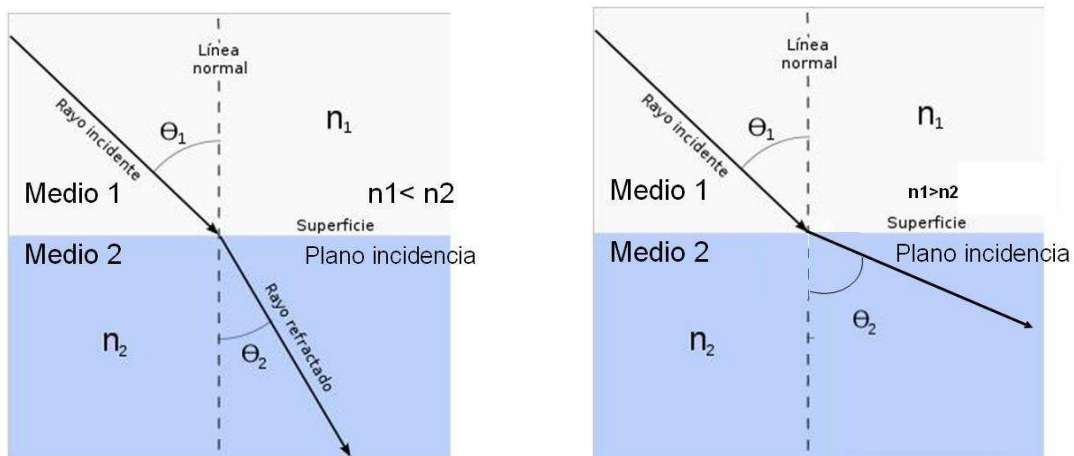


En la figura 2.17 se muestra la trayectoria de un rayo de luz que atraviesa varios medios con superficies de separación paralelas.



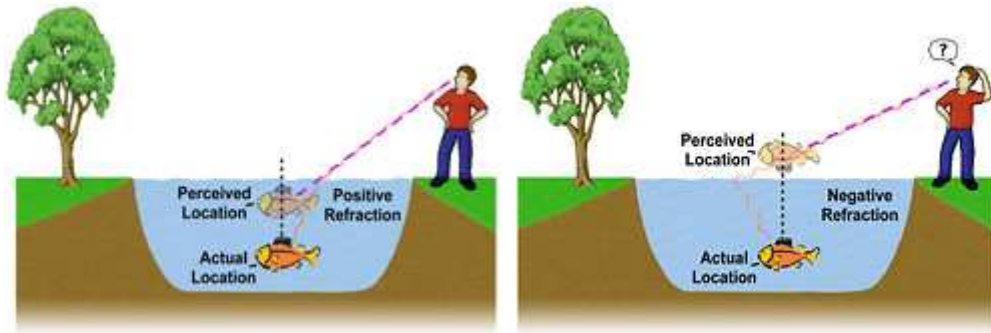
**Figura 2.17** Refracción de un rayo atravesando varios medios

Tal y como se puede observar en la figura 2.18, el rayo inicial cuyo medio de propagación es el aire, incide sobre el agua, variando la velocidad de propagación del haz de luz, y por tanto, su dirección. Este hecho se repite a medida que atraviesa los diferentes índices de refracción cada uno, modificando la trayectoria del rayo luminoso en función de ellos.



**Figura 2.18** Ley de Snell o Ley de la Refracción.

Para un observador situado en un medio menos denso, como el aire, un objeto situado en un medio más denso parece estar más cerca de la superficie de separación de lo que está en la realidad. El ejemplo clásico es el de un objeto sumergido en una piscina o el mar, observado desde encima del agua, tal y como se muestra en la figura 2.19.



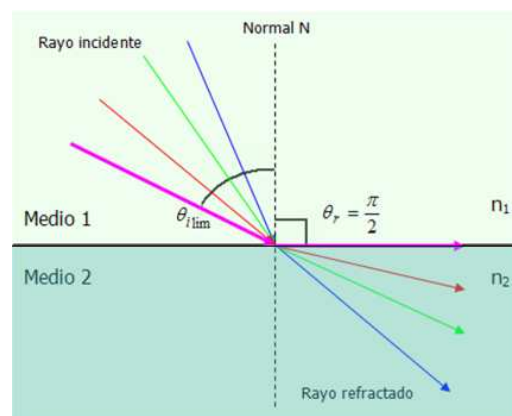
**Figura 2.19** Refracción entre los medios aire y agua

Tal como se observa en la figura 2.19, el rayo procedente del objeto fuente, se desvía acercándose a la normal de incidencia, es decir, hacia el ojo. Por ello, el objeto parece situado en un punto más cercano de la superficie de lo que realmente está.

### 2.2.4.3 Reflexión total.

Está asociado a la Ley de la reflexión detallada en el tema anterior. Si bien, puede considerarse un caso particular de reflexión, es muy importante dada la cantidad de aplicaciones físicas y técnicas basadas en éste concepto. Para poder explicar y demostrar el concepto de reflexión total, es necesario considerar nuevamente un caso práctico, de dos medios con índices de refracción  $n_1$  y  $n_2$  respectivamente, donde  $n_2 < n_1$ . Dada una fuente de luz localizada en el medio de mayor índice de refracción, se abalizará analíticamente qué ocurre cuando la luz incide sobre la interface entre dos medios en condiciones límites.

De acuerdo a la Ley de Snell,  $n_1 \cdot \sin \theta_i = n_2 \cdot \sin \theta_r$ , y dada la condición de partida que  $n_2 < n_1$ , el ángulo de refracción  $\theta_r$  resulta siempre mayor que el ángulo de incidencia  $\theta_i$ ; esto implica que existe un valor  $\theta_{i \text{ lim}}$  límite, para el ángulo de refracción resulta ser  $\theta_r = 90^\circ$ , es decir, cuando el rayo refractado, es paralelo al plano de incidencia o interface. Se lo puede representar en la grafica 2.20.



**Figura 2.20** Angulo límite para la reflexión total.

Siguiendo el patrón de transmisión tal y como se indica en la figura, para ángulos de incidencia mayores de que el ángulo límite  $\theta_{i \text{ lim}}$  según la Ley de Snell, se obtendrían valores del  $\text{sen } \theta_r > 1$ , lo cual es matemáticamente imposible. Por lo tanto, cuando un rayo incide con un ángulo de incidencia  $\theta_i > \theta_{i \text{ lim}}$ , experimentalmente se observa que estos rayos se reflejan completamente en el medio de índice de refracción  $n_2$ , es decir, que la interfase para esos rayos se convierte en un espejo perfecto, en el sentido que la luz no puede transmitirse al medio de índice de refracción  $n_1$ .

El valor del ángulo límite para el cual se produce la refracción total, se puede calcular fácilmente con la siguiente condición:

$$\theta_i = \theta_{i \text{ lim}} \Leftrightarrow \text{sen } \theta_r = \frac{\pi}{2} \quad [2-44]$$

Si se aplica esta condición en la ecuación de la Ley de Snell, se obtiene el siguiente resultado:

$$n_1 \cdot \text{sen } \theta_i = n_2 \cdot \text{sen } \theta_r \rightarrow n_1 \cdot \text{sen } \theta_{i \text{ lim}} = n_2 \cdot \text{sen } \frac{\pi}{2} \quad [2-45]$$

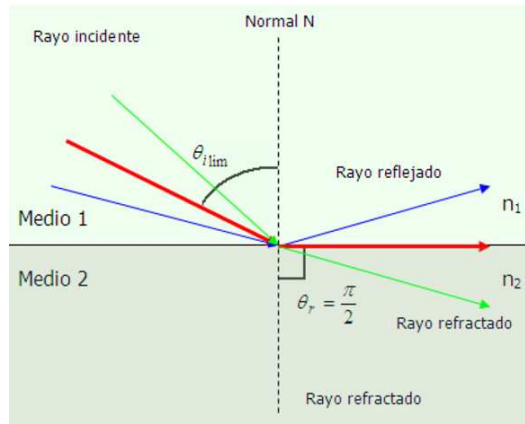
Dado que el  $\text{sen } \frac{\pi}{2} = 1$ , entonces la igualdad anterior se puede simplificar como:

$$n_1 \cdot \text{sen } \theta_{i \text{ lim}} = n_2 \quad [2-46]$$

El valor de  $\theta_{i \text{ lim}}$  para el cual se produce la condición anterior, sería [31]:

$$\theta_{i \text{ lim}} = \text{sen}^{-1} \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \quad [2-47]$$

Así pues, cualquier valor del ángulo de incidencia que supere el valor obtenido a partir de la definición de ángulo límite, no tendrá una solución analítica real. La resolución entonces de este caso, se puede explicar gráficamente en la figura 2.21, en la que se observa que el plano de incidencia o la normal, actúa a modo de espejo:



**Figura 2.21** Ángulo límite entre dos medios con distinto índice de refracción

Como se observa en la figura 2.21, el haz de luz color roja que incide sobre la normal, lo hace sobre un medio de índice de refracción  $n_2 < n_1$ , y además lo hace con un ángulo de incidencia tal, que produce que el rayo en el medio 2 tenga un ángulo de refracción de  $90^\circ$ . El haz de color verde, incide sobre el medio 2 con un ángulo de incidencia menor al ángulo límite, luego se refracta normalmente, con un ángulo dado por la Ley de Snell.

Sin embargo, el haz de luz, incide sobre el segundo medio con un ángulo mayor al ángulo límite, lo que provoca que el medio 2 actúe a modo de espejo, reflejando el total de luz del rayo incidente, y además, cumpliendo la Ley de la Reflexión, es decir, que el ángulo incidente del medio 1, coincide con el ángulo del rayo reflejado del medio 2. En el proyecto, cabe destacar que la fibra óptica es una nueva aplicación práctica de la reflexión total. Así pues, cuando la luz entra por un extremo de un tubo macizo de vidrio o plástico, puede verse reflejada totalmente e la superficie exterior del tubo, y tras una serie de reflexiones totales sucesivas, salir por el otro extremo.

Es posible fabricar fibras de vidrio de diámetro muy pequeño, recubrirlas con un material de índice de refracción menor y posteriormente juntarlas, en haces flexibles o placas rígidas que se utilizan para retransmitir imágenes. Los haces flexibles, que pueden emplearse para iluminar además de para transmitir imágenes, son muy útiles para la exploración médica, ya que pueden introducirse en cavidades estrechas e incluso en vasos sanguíneos.

### **2.3 Transmisión de señales a través de la fibra óptica.**

El canal de transmisión de éste proyecto es la fibra óptica, son filamentos de vidrio de alta pureza extremadamente compactos, el grosor de una fibra es similar a la de un cabello humano, cubierto de un revestimiento exterior de material plástico. La transmisión de señales a través de fibra óptica, se basa principalmente en el transporte de pulsos luminosos a través de dicho filamento, procedentes de la transformación previa de señales eléctricas utilizando los denominados transmisores optoelectrónicos.

Es importante conocer la estructura de la fibra óptica para poder entender el comportamiento y funcionamiento del canal de transmisión. A continuación, se detalla la geometría física de un cable de fibra óptica común o normal, base para la fabricación de cualquier tipo de fibra en el mercado.

#### **2.3.1 Composición y geometría de una fibra óptica.**

La geometría física de la fibra óptica y el índice de refracción son las claves necesarias que condicionan el funcionamiento general, comportamiento y ancho de banda de los diferentes tipos de fibra óptica. No obstante, todas y cada una de ellas, comparten una estructura genérica, que permite la transmisión en general. Toda fibra óptica está constituida por tres estructuras o capas concéntricas, que difieren en sus propiedades de composición, y son las que se detallan a continuación.

##### **2.3.1.1 Núcleo (Core)**

El núcleo, también conocido como túnel transmisor, es la parte más interna de la fibra y se encarga de conducir las señales ópticas procedentes de la fuente de luz hasta el dispositivo de recepción. Se trata de una sola fibra continua de vidrio fabricada a elevada temperatura a partir de cuarzo ultra puro, plástico o dióxido de silicio. Frecuentemente, el vidrio de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) suele doparse con materiales como óxido de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), óxido de germanio ( $\text{GeO}_2$ ) u óxido de boro ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) para ajustar su índice de refracción.

Posee un diámetro muy pequeño, que varía entre los 10 y 300  $\mu\text{m}$ . Cuanto mayor es el diámetro del núcleo, mayor es la cantidad de luz que el cable puede transportar. Precisamente, los cables de fibra óptica se clasifican a nivel general en función de su diámetro.

### **2.3.1.2 Revestimiento (Cladding)**

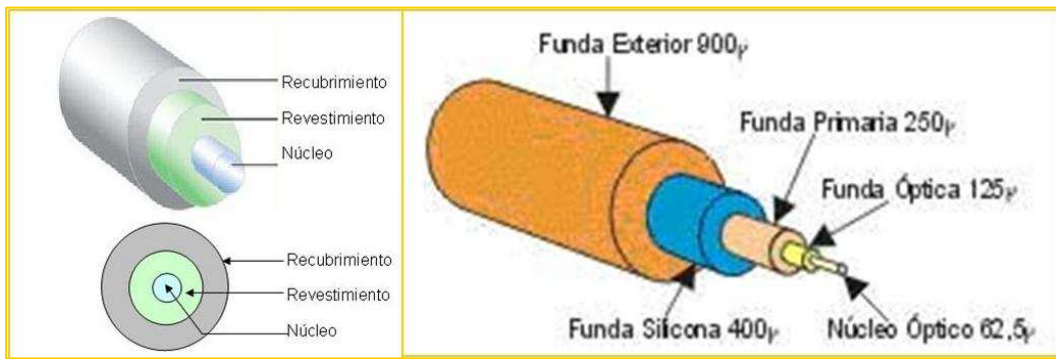
Es la parte intermedia de la fibra, que rodea y protege al núcleo. Este medio posee un índice de refracción menor al del núcleo, de forma que actúa como una capa reflectante (a modo de espejo), consiguiendo que las ondas de luz que intentan escapar del núcleo sean reflejadas y retenidas en el mismo. Está fabricado a elevada temperatura con base en silicio de naturaleza cristalina, y generalmente son de cuarzo o plástico transparente. En esta capa se suelen añadir varias capas de plástico con el fin de absorber los posibles impactos o golpes que pueda recibir la fibra y proporcionar una protección extra contra curvaturas excesivas del cable, es decir, para preservar la fuerza de la fibra.

### **2.3.1.3 Recubrimiento ( Coating o Buffer)**

El recubrimiento es la parte externa de la fibra y actúa a modo de amortiguador, protegiendo el núcleo y el revestimiento de posibles daños y agentes externos. En definitiva, provee al cable de cierta protección mecánica a la manipulación. Está fabricado con material plástico, capaz de resguardar la fibra óptica de la humedad, el aplastamiento, los roedores y otros riesgos del entorno. Algunas fibras ópticas poseen un gel protector que le permite mayor protección a la manipulación, y a su vez el gel ayuda para aislar la fibra de la humedad.

En muchas ocasiones el recubrimiento aparece claramente dividido a su vez en dos subcapas: el recubrimiento primario ( Buffer) y el recubrimiento secundario (coating). En aquellos casos en los que el recubriendo primario lleva adicional al secundario, la fibra suele utilizarse para exterior o bajo tierra. Esta funda puede retirarse fácilmente por medios físicos o mecánicos con el fin de realizar empalmes y le otorga a la fibra un diámetro externo prefijado, pudiendo ser de 125, 250, (en caso de sólo contar con único recubrimiento primario) y de 500 o 900  $\mu\text{m}$  (en caso de contar también con un recubrimiento secundario adicional).

En la figura 2.22 se puede observar con un corte frontal las tres capas concéntricas descritas anteriormente .



**Figura 2.22** Geometría física de la fibra óptica

Cabe destacar que las fibras ópticas no suelen presentarse como cables aislados, sino que suelen fabricarse como estructuras agrupadas bajo una misma cubierta, cuya clasificación se expondrá más adelante.

### 2.3.2 Principio de funcionamiento de la fibra óptica.

Es primordial tener en cuenta que, para que sea posible la transmisión de información a través de la fibra óptica, es necesario inyectar en la misma haces de luz a partir de una fuente lumínica de referencia. Los pulsos de luz entrantes en el cable lo hacen directamente sobre el núcleo de la fibra, y consiguen transmitirse sobre el núcleo. Esto es posible gracias a la diferencia de índices de refracción entre el núcleo y el revestimiento, dado que el índice de refracción del revestimiento es menor al núcleo. Finalmente, los rayos luminosos llegan al extremo opuesto de la fibra, donde un receptor los termina transformando en señales eléctricas.

Para poder obtener los índices de refracción distintos entre el revestimiento y el núcleo, y poder dar lugar a la clasificación anterior y satisfagan las condiciones de guía de luz, se suelen agregar impurezas al silicio ( $SiO_2$ ) durante el proceso de fabricación. Dichas impurezas suelen ser materiales dopantes tales como el óxido de fósforo ( $P_2O_5$ ), el óxido de germanio ( $GeO_2$ ) o el óxido de boro ( $B_2O_3$ ), que aumentan el índice de refracción. En definitiva, el principio operacional de la fibra óptica está basado en el Principio de la reflexión total, explicado y demostrado anteriormente.

El transmisor emite rayos con un ángulo de incidencia superior al ángulo crítico, permitiendo que el rayo transmitido se refleje por primera vez en el revestimiento. Este mismo proceso se repite reiteradamente a lo largo de todo el cable. Dado que los ángulos de incidencia y reflexión son iguales, el rayo de luz continúa reflejándose y transmitiéndose en zigzag sobre toda la longitud de la fibra. De esta forma, la energía luminosa procedente de la fuente transmisora es atrapada en el núcleo.

Sin embargo, no todos los haces de luz procedentes de la fuente de energía lumínica entran en el núcleo, o bien entran pero no consiguen transmitirse a través de reflexiones internas de la fibra. Esto se debe a que la luz que golpea la interfaces núcleo-revestimiento lo hace con un grado menor al ángulo crítico, permitiéndose por refracción dicha energía en el revestimiento. En la figura 2.23 se muestra el principio de propagación a través de la fibra óptica.



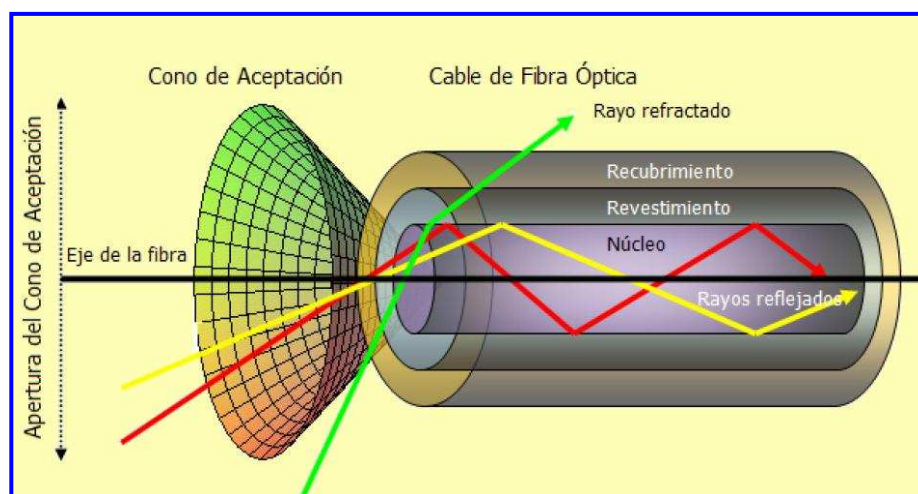
**Figura 2.23** Principio de operación de la fibra óptica.

En la figura 2.23, se toman como referencia tres rayos con diferentes ángulos de incidencia sobre el núcleo de la fibra, y que además cumple que  $n_2 < n_1$ ; un rayo cuyo ángulo de incidencia es igual al ángulo límite, y que aparece representado en color rojo; un segundo rayo cuyo valor de ángulo de incidencia es mayor al ángulo límite, representado en color azul; y finalmente, un rayo cuyo ángulo de incidencia es menor al ángulo límite, y que aparece representado mediante línea discontinua.

Los dos primeros cumplen la Ley de la Reflexión Total por lo que quedan confinados en el núcleo, mientras que el rayo discontinuo posee un ángulo de incidencia menor al ángulo límite, y es refractado sobre el revestimiento, perdiéndose dicha energía. Si extrapolamos a la estructura cilíndrica de la fibra la condición geométrica de que todos aquellos rayos de luz que inciden bajo un ángulo superior al ángulo límite quedan atrapados dentro del núcleo, se genera un cono virtual denominado **cono de aceptación** y que determina el “conducto de paso” a la fibra.

Esto es, los rayos de luz que inciden sobre la fibra fuera del cono de aceptación, no se propagan longitudinalmente a través del cable [30]. El cono de aceptación está directamente relacionado con los materiales de fabricación de la fibra, de tal forma que en función de la pureza y/o diámetro del núcleo y revestimiento, el cono de aceptación puede ser mayor o menor. En la figura 2.24 se puede observar el ángulo límite permitido .





**Figura 2.24.** Cono de aceptación de la fibra.

Cuanto mayor sea el cono de aceptación de una fibra óptica, mayor será la capacidad de rayos que puede transmitir dicho medio, y por tanto, no será necesaria tanta precisión a la hora de la emisión de luz por parte del emisor. En contrapartida, una mayor cantidad de haces de luz circulante en el interior del núcleo de la fibra, implica una variabilidad en las direcciones de propagación de los rayos, y la calidad de los mismos disminuye.

### 2.3.3 Clasificación y tipos de fibra óptica.

Ningún diseño de fibra satisface todos los requerimientos operacionales por completo. Por razones económicas los fabricantes han concentrado sus esfuerzos en varios tipos de fibra óptica que se clasifican atendiendo a diferentes criterios, aunque las principales clasificaciones son tres:

- ❖ según el modo de propagación.
- ❖ según el modo de refracción
- ❖ según los materiales de fabricación.

Sin embargo comúnmente se adopta una clasificación única que integra los tres criterios anteriores, y que sigue el esquema que se presenta a continuación.

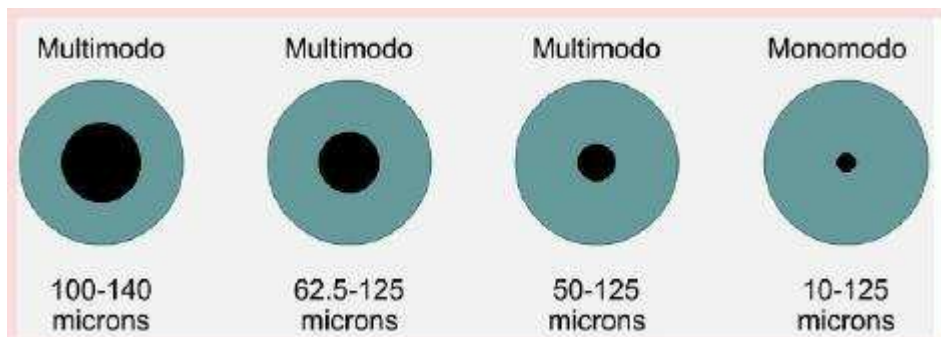
**Tabla 2.2** Criterios de clasificación de la fibra óptica.

Fibras Ópticas	Según el modo de propagación	Multimodo	Según el índice de refracción	Salto de índice o índice escalonado
				Índice gradual
	Monomodo	Según los materiales de fabricación	SMF o estándar	
			DSF o de dispersión desplazada	
			NZ-DSF o de dispersión desplazada no nula	

En la tabla 2.2, se detallan los diferentes tipos de fibra óptica según la clasificación de lo anteriormente mencionado.

### 2.3.3.1 Fibra óptica multimodo o MM (Multi Mode)

Cómo su nombre lo indica, en este tipo de fibras se pueden propagar varios modos de transmisión simultánea. Esto es posible gracias a que el diámetro del núcleo de este tipo de fibras es amplio, y suele ser de 50  $\mu\text{m}$  ó 62.5  $\mu\text{m}$ , por lo que el acoplamiento de la luz en sus diferentes modos es más sencillo. En la figura 2.25, se muestra la sección de una fibra óptica multimodo [35].



**Figura 2.25** Sección de fibra óptica multimodo

Las fibras ópticas multimodo, se clasifican en función del índice de refracción del núcleo en multimodal de índice escalonado y multimodal del índice gradual, que se detallan a continuación.

➤ **Fibra óptica multimodo de índice escalonado a salto de índice.**

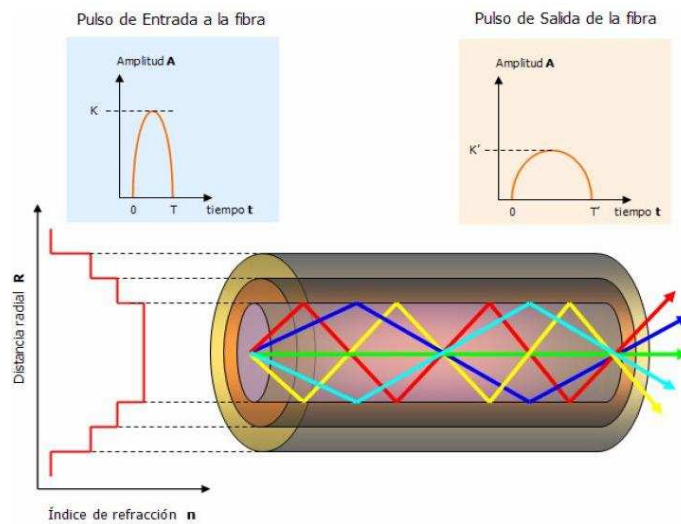
En este grupo se engloban todas aquellas fibras en las cuales el valor del índice de refracción en el núcleo y en el revestimiento permanece siempre constante, y además el valor del índice de refracción del núcleo es sensiblemente mayor al del

revestimiento, por lo que el cambio de índice de refracción al pasar de una zona a otra cambia bruscamente ( de ahí su nomenclatura).

Estas fibras están fabricadas a partir de vidrio o plástico, con una atenuación de hasta 30 dB/Km o 100 dB/Km respectivamente para cada composición, y con una banda de paso común en ambas de hasta 40 Mhz por kilómetro. En este tipo de fibra viajan varios haces ópticos cada uno con una dirección de propagación diferente a las demás, lo que provoca que se reflejen a diferentes ángulos en el interior del núcleo. Estos haces de luz que recorren diferentes distancias describiendo trayectorias rectilíneas, y como consecuencia de ello se desfasan al viajar por dentro de la fibra.

El desfase de los haces de luz, causa que el pulso luminoso del que proceden se transmita al receptor con un ensanche en el tiempo. A esta distorsión de la señal se la denomina dispersión modal o dispersión multimodo, y se detallará más adelante. Gracias al amplio diámetro del núcleo, estas fibras gozan de un cono de aceptación bastante amplio lo que permite la entrada de mayor número de haces de luz en diferentes direcciones. Debido a esto, es muy común utilizar LED como emisores de superficie e bajo costo, así como conectores de fibra muy baratos, que minimizan el impacto económico final.

Las fibras de índices escalonado se comenzaron a diseñar con diámetros estándares, que han sido de 50  $\mu\text{m}$  y 62.5  $\mu\text{m}$  para el núcleo y las 125  $\mu\text{m}$  para el revestimiento. Debido a su dispersión intermodal son muy utilizadas en enlaces de corta distancia, de hasta 1Km y su aplicación más importante está en las redes locales. Sin embargo, existen algunas fibras fabricadas con núcleo de 100  $\mu\text{m}$  y revestimiento 125  $\mu\text{m}$ , consiguiéndose un aumento de los modos de propagación, por lo que resultan útiles en aplicaciones domésticas o de muy corta distancia. En la figura 2.26 se observa el principio operacional de las fibras multimodo de salto de índice.



**Figura 2.26** Fibra óptica multimodo de salto de índice

➤ **Fibra óptica multimodo de índice escalonado o salto de índice.**

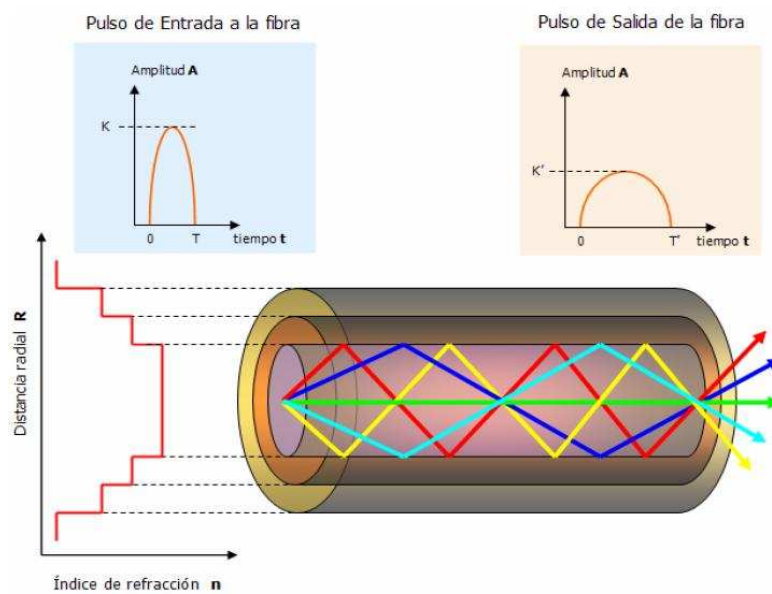
En este grupo se engloban todas aquellas fibras en las cuales el valor del índice de refracción en el núcleo y en el revestimiento permanece siempre constante, y además el valor del índice de refracción del núcleo es sensiblemente mayor al del revestimiento, por lo que el cambio de índice de refracción al pasar de una zona a otra cambia bruscamente (de ahí su nomenclatura). Estas fibras están fabricadas a partir de vidrio o plástico, con una atenuación de hasta 30 dB/Km respectivamente para cada composición, y con una banda de paso común en ambas de hasta 40 MHz por kilómetro.

En este tipo de fibra viajan varios haces ópticos cada uno con una dirección de propagación diferente a las demás, lo que provoca que se reflejen a diferentes ángulos en el interior del núcleo. Estos haces de luz recorren diferentes distancias descubriendo trayectorias rectilíneas, y como consecuencia de ello se desfazan al viajar por dentro de la fibra. El desfase de los haces de luz, causa que el pulso luminoso del que proceden se transmita al receptor con un ensanche en el tiempo. A esta distorsión de la señal se la denomina dispersión con un ensanche en el tiempo. A esta distorsión de la señal se la denomina dispersión modal o dispersión multimodo.

Gracias al amplio diámetro del núcleo, estas fibras gozan de un cono de aceptación bastante amplio lo que permite la entrada de mayor número de haces de luz en diferentes direcciones. Debido a esto, es muy común utilizar LED como emisores de superficie de bajo costo, así como conectores de fibra muy baratos, que minimizan el

impacto económico final. Las fibras de índice escalonado se comenzaron a diseñar estándares, que han sido de 50  $\mu\text{m}$  y 62.5  $\mu\text{m}$  para el revestimiento. Debido a su dispersión intermodal son muy utilizadas en enlaces de corta distancia, de hasta 1Km y su aplicación más importante está en las redes locales.

Sin embargo, existen algunas fibras fabricadas con núcleo de 100  $\mu\text{m}$  y revestimiento 125  $\mu\text{m}$ , consiguiéndose un aumento de los modos de propagación, por lo que resultan útiles en aplicaciones domésticas o de muy corta distancia [35]. En la figura 2.27 se muestra el principio operacional de las fibras ópticas multimodo de salto de índice .



**Figura 2.27** Fibra óptica multimodo de salto de índice

➤ **Fibra óptica multimodo de índice gradual.**

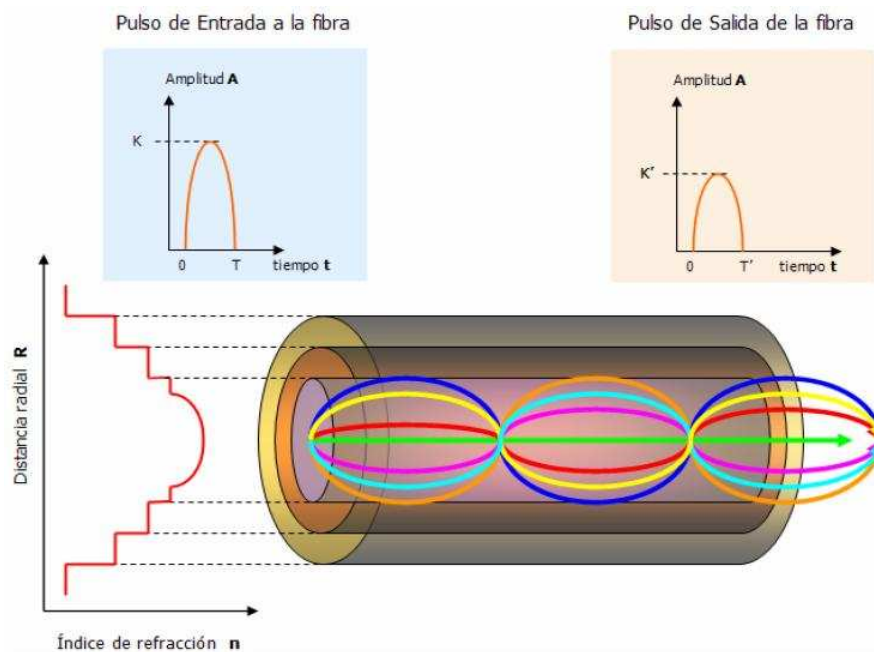
En este tipo de fibra óptica el núcleo no posee un índice de refracción constante, sino que está fabricado a partir de varias capas concéntricas de material óptico con índices de refracción de valor decreciente del revestimiento [30]. Estas fibras poseen una banda de paso que puede alcanzar los 500MHz por kilómetro. Además, consiguen reducir considerablemente la dispersión respecto a la fibra multimodo de índice escalonado como consecuencia de la naturaleza de su composición variable del núcleo.

El número de modos de propagación o haces de luz diferentes que viajan en el interior del núcleo es menor, dado que el núcleo enfoca los rayos de luz hacia el eje

de la fibra a lo largo de su trayectoria. Los haces de luz describen direcciones onduladas, por lo que la distancia recorrida por los haces en el interior del núcleo es menor, existiendo menos diferencia entre los caminos recorridos por los rayos. Debido a esto, los haces tienden a llegar al mismo tiempo, y este hecho permite reducir la dispersión intermodal.

Como consecuencia de lo anterior, admite distancias de propagación mayores que las multimodales de índice escalonado, pudiendo llegar hasta enlaces de 10 Km de distancia. Las fibras de índice gradual se comenzaron a diseñar especialmente para las telecomunicaciones, y por largo tiempo los diámetros estándares han sido de 50  $\mu\text{m}$  y 62.5  $\mu\text{m}$  como para el núcleo y de 125  $\mu\text{m}$  para el revestimiento. Sin embargo, existen algunas fibras fabricadas con núcleo de 82.5  $\mu\text{m}$  y revestimiento 125  $\mu\text{m}$ , consiguiéndose una reducción de los modos de propagación, y por lo tanto, reduciendo la dispersión intermodal .

En la figura 2.28 el principio operacional de las fibras ópticas multimodo de índice gradual.



**Figura 2.28** Fibra óptica multimodo de índice gradual.

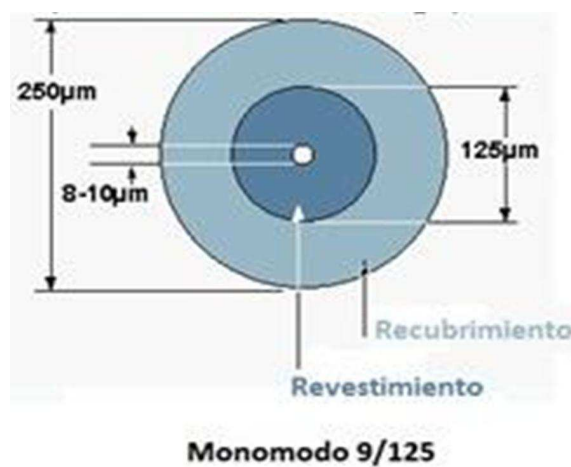
Existe un tipo de fibras ópticas dentro de las fibras multimodo denominadas fibras ópticas de plástico p POF (plastic optical fiber). Su principal característica es su núcleo, cuyo diámetro es del orden de 1mm. Debido a esto, poseen un cono de aceptación muy amplio, lo que lleva implícito una atenuación también elevada que

puede llegar a ser de 0,15 dB a 650 nm, y por supuesto un ancho de banda de transmisión muy reducido.

Su aplicación más común es la de enlaces de muy corta distancia, como pueden ser en el interior de automóviles, en pequeñas oficinas, etc. Empleando como fuente de transmisión un LED rojo. Las principales ventajas de su utilización son su reducido costo, su factibilidad de manipulación y manejo, su simpleza en instalación y su robustez. Las pérdidas debidas a su curvatura son prácticamente inexistentes con radios de hasta 25 mm, lo que facilita su instalación en paredes y lugares muy estrechos.

### 2.3.3.2 Fibra Óptica Monomodo o SM ( Single Mode )

Tal y como su nombre indica, en este tipo de fibras tan sólo permite la propagación de un único modo de transmisión. Esto es posible gracias a que el diámetro del núcleo de este tipo de fibras es muy reducido, y suele estar comprendido entre 8  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ , por lo que tan sólo permite la propagación de un haz de luz fundamental. En la figura 2.29 se muestra la sección de la fibra óptica monomodo.



**Figura 2.29** Sección de fibra óptica monomodo

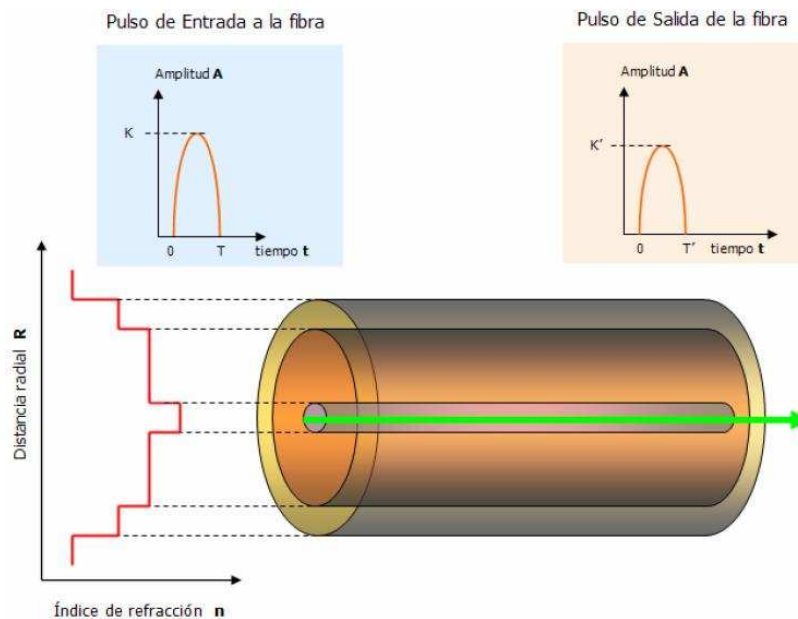
Debido a la geometría de su reducido núcleo y por lo tanto a la transmisión de un único modo de propagación, éste se propaga directamente sin existir reflexiones en su interior, es decir el haz de luz posee una trayectoria paralela al eje de la fibra, eliminando el desfase o ensanchamiento del pulso en recepción y en consecuencia, la dispersión modal. Este efecto causa que su ancho de banda sea muy elevado, del orden de los 100 GHz por kilómetro.



Aunque consiguen extinguir la dispersión modal, estas fibras se ven afectadas por otro tipo de dispersión que es la cromática. La dispersión cromática es aquella producida por la fuente de luz como consecuencia de la coherencia espectral de la misma. No existen fuentes ideales con ancho de banda nulo y coherencia infinita, sino que siempre se emiten distintas longitudes de onda residuales en torno a una longitud de onda fundamental.

La fabricación del núcleo se lleva a cabo a través de un material cuyo índice de refracción es sensiblemente mayor al del revestimiento, lo que lleva a definirla como una fibra de salto de índice escalonado. Los elevados flujos que se pueden alcanzar con este tipo de fibra (del orden de cientos Gbps), la convierten en una fibra muy atractiva para demandas de tasa de bits elevadas. Esto unido a su inexistente dispersión modal, la convierten en la fibra idónea para enlaces de larga distancia.

Sin embargo. Sus pequeñas dimensiones implican un manejo muy delicado y entrañan dificultades de conexión, lo que supone un aumento del coste. Además, como consecuencia de tener un diámetro del núcleo muy pequeño, su cono de aceptación también lo es, y los emisores de luz que debe tener han de transmitir un rayo muy preciso y estrecho para un acoplamiento perfecto, por lo que no se pueden utilizar LEDs (que son muy económicos) sino que es necesario emplear láseres que son más caros. En la figura 2.30 se muestra el principio operacional de las fibras ópticas monomodo .



**Figura 2.30** Fibra óptica monomodo



A su vez, las fibras monomodo, se clasifican en función de los materiales de fabricación, en fibras SMF, DSF y NZDSF cuyas principales características se detallan a continuación:

✓ **Fibra óptica monomodo estándar (SMF)**

Las fibras monomodo estándar o SMF (Standard single mode fiber) posee unas características muy básicas. Así, posee una atenuación del orden de 0,2 dB/Km y una dispersión cromática del orden de 16 pseg/Km . nm en longitud de onda de 1550 nm. En longitud de onda de 1330 nm posee una dispersión cromática nula, pero la atenuación de la señal se duplica.

✓ **Fibra óptica monomodo de dispersión desplazada (DSF)**

Las fibras ópticas monomodo de dispersión desplazada o DSF (dispersión shifted fiber) poseen unas características que mejoran la dispersión cromática respecto de las anteriores. Poseen una atenuación del orden de 0.25 dB/Km (aumenta respecto a la fibra SMF) pero posee una dispersión cromática nula en longitud de onda de 1550 nm. Su principal inconveniente se debe a los efectos no lineales, como puede ser el fenómeno de mezclado de cuarta onda (FWM) que imposibilitan la utilización de esta fibra óptica en sistemas de multiplexación por longitud de onda (WDM). Esta fibra fue introducida en el mercado a mediados de los años 80 y permanece en uso, sin embargo nunca ha llegado a ser tan común como la fibra monomodo estándar.

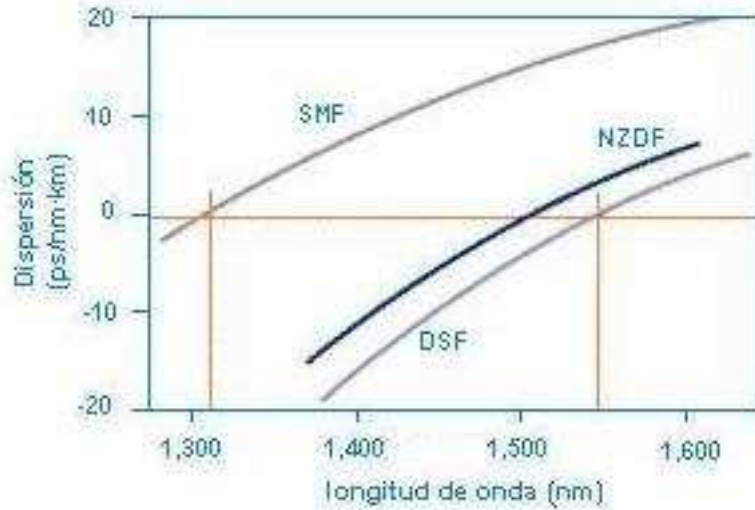
✓ **Fibra óptica monomodo de dispersión desplazada no nula (NZDSF)**

Las fibras ópticas monomodo de dispersión desplazada no nula o NZDSF (non zero dispersión shifted fiber) surgen para intentar resolver los inconvenientes de la fibra anterior. Posee un valor de dispersión cromática muy próximo a cero pero no nulo (de ahí su nombre) en longitud de onda de 1550 nm. Por el contrario, logran en gran medida contrarrestar los efectos de los fenómenos no lineales mediante la dispersión cromática.

El diseño de una fibra de dispersión desplazada se puede modificar para desplazar la dispersión cero a una longitud de onda más allá del rango de operación de los amplificadores dopados con erbio (EDFA), para evitar las mezclas de ondas que

causan los problemas en los sistemas que utilizan multiplexación de longitudes de onda (WDM). Por ejemplo, un pequeño adelanto de la dispersión de guía de onda puede llevar la dispersión cero a una longitud de onda de 1600 nm.

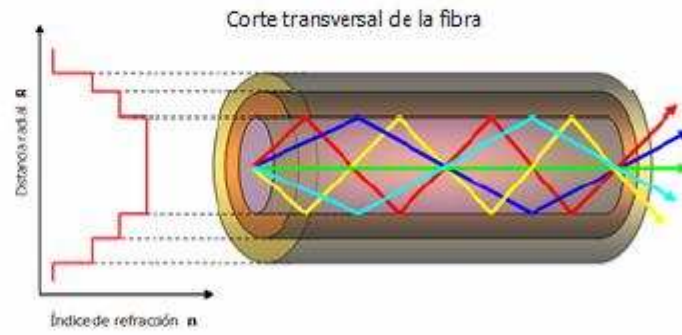
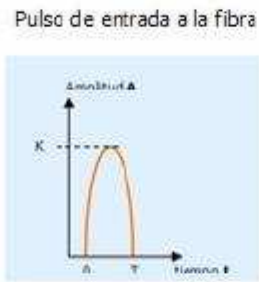
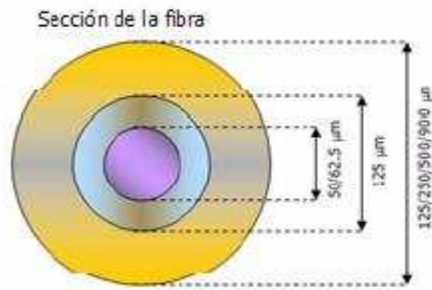
En la figura 2.31 se muestra las diferentes curvas de dispersión cromática de estas tres fibras ópticas anteriores para distintas longitudes de onda.



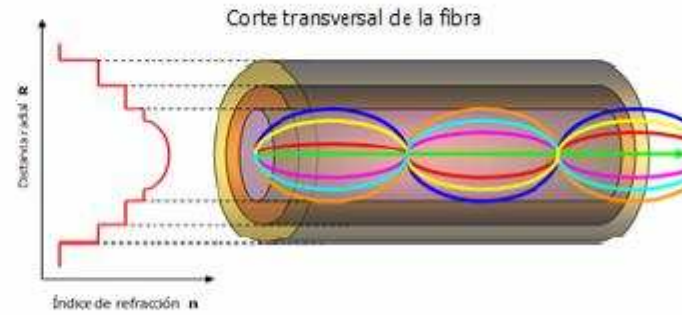
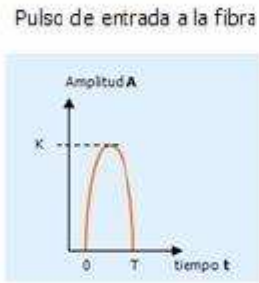
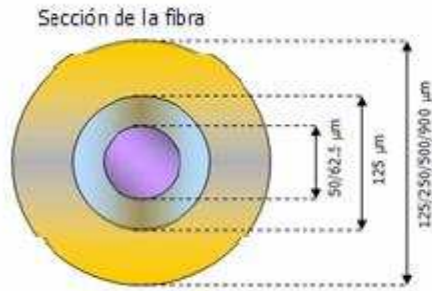
**Figura 2.31** Dispersión cromática de las fibras monomodo SMF, DSF y NZDSF.

En resumen respecto a éste enunciado, en la figura 2.32 se muestra un comparativa entre los diferentes tipos de fibras óptica explicados anteriormente, que permite visualizar las diferencias más significativas entre cada una de ellas.

Multimodo de índice escalonado



Multimodo de índice gradual



Monomodo

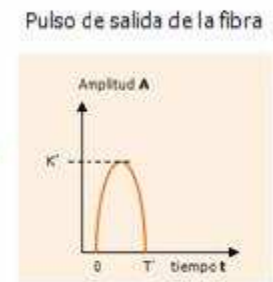
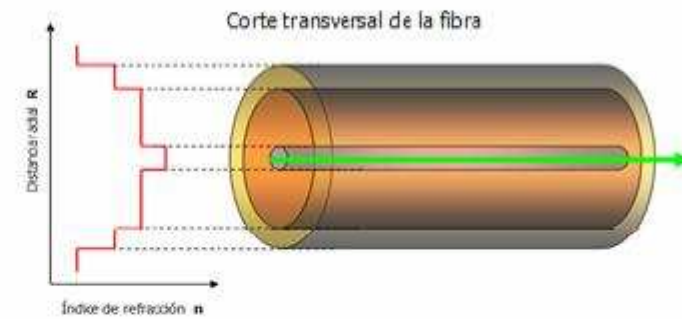


Figura 2.32 Comparación de diferentes tipos de fibra.

### **2.3.4 Estándares de la fibra óptica**

A lo largo de la evolución de la fibra óptica, se han ido especificando diferentes estándares internacionales que clasifican, definen y particularizan los distintos tipos de fibra óptica del mercado. Para lograr rendimientos ópticos de acuerdo con cada aplicación, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) definió diversas normas que establecían los rendimientos de las fibras ópticas tanto monomodo como multimodo. Estas normas son todas las englobadas en el grupo ITU-T G.65x, así como las englobadas por la clasificación de la EIA.

### **2.4 Parámetros de las fibras ópticas.**

Una vez conocida la estructura y composición de una fibra óptica, es necesario conocer los parámetros que caracterizan a las fibras. Así pues estos parámetros ayudarán a conocer cuáles son las características, más importantes de estos cables así como sus virtudes y limitaciones. Existen dos grupos de parámetros en los cuales se engloban todos y cada uno de ellos, y son los parámetros estructurales y los parámetros de transmisión. Todos ellos establecen las condiciones en las que se puede realizar la transmisión de información.

#### **2.4.1 Parámetros estructurales.**

Los parámetros estructurales son todos aquellos relacionados con la geometría y estructura propia de cada fibra óptica. Estos parámetros determinan y caracterizan los tipos de fibras existentes en el mercado. De tal forma que la clasificación de las fibras depende directamente de ellos. Existen muchos y muy variados tipos de parámetros que caracterizan las fibras aunque los más importantes son:

- Perfil de índice de refracción, cuya variación permite obtener fibras con diferentes dispersiones.
- Dimensiones del núcleo y del revestimiento, que determinan el tipo de propagación: monomodo o multimodo.
- Diámetro del campo modal, que indica como se produce la distribución geométrica de la luz en el modo propagado.
- Apertura numérica, que indica el número de rayos capaces de entrar en el núcleo de transmisión de una fibra óptica.

- Longitud de onda de corte, que determina que la fibra óptica transmita en un solo modo de propagación únicamente.

### 2.4.2 Parámetros de transmisión.

Los parámetros de transmisión son todos aquellos relacionados con la transmisión de señales a través de fibra óptica. Existen también muchos tipos de parámetros que caracterizan las fibras y en función de su naturaleza y efectos sobre la fibra se clasifican en dos grandes grupos: parámetros de atenuación y parámetros de dispersión. A continuación se muestra una tabla 2.3, que resume la clasificación de los parámetros de transmisión.:

**Tabla 2.3** Clasificación de los parámetros de transmisión

Parámetros de transmisión	Atenuación	Pérdidas extrínsecas	Por curvatura Por conexión y empalme Otras
		Pérdidas intrínsecas	Pérdidas inherentes/fabricación Pérdidas UV e IR Reflexión de Fresnel Scattering de Rayleigh
	Dispersión	Dispersión Modal	
		Dispersión Polarización de Modo PMD	
		Dispersión cromática	Dispersión material Dispersión guía de onda

#### 2.4.2.1 Atenuación

La luz que viaja a través de una fibra óptica pierde potencia a medida que avanza a lo largo de ella, y por tanto, con la distancia. Las pérdidas por atenuación limitan la distancia de transmisión y dependen de la longitud de onda de la luz y del material por el que se propaga. Se define la atenuación en el interior de la fibra como la relación entre las potencias luminosa de salida y entrada a la misma, expresada en decibelios y calculada para una longitud de onda determinada, según la expresión.

$$A = 10 \cdot \log \frac{P_T}{P_R} \quad [2-48]$$

Si bien, la magnitud que realmente caracteriza a las fibras es el coeficiente de atenuación, que se define como la atenuación por unidad de longitud (generalmente en kilómetros) para una determinada longitud de onda, según la expresión :

$$\alpha = \frac{1}{L} 10 \cdot \log \frac{P_T}{P_R} \quad [2-49]$$

Las pérdidas más bajas se encuentran a una longitud de onda de 1550nm, valor que se utiliza fuertemente para transmisiones de larga distancia, mientras que los valores más altos se encuentran en longitudes de onda menores. La atenuación de la señal en la fibra no depende del ancho de banda de modulación, debido a que la frecuencia portadora es superior en varios órdenes de magnitud a la frecuencia de modulación lo que ocurre en otras guías de onda convencionales.

La atenuación de la luz en una fibra óptica se produce como consecuencia de varios efectos y se pueden clasificar en pérdidas extrínsecas y pérdidas intrínsecas.

✓ **Pérdidas extrínsecas**

Este tipo de pérdidas se deben a factores extrínsecos a la naturaleza de las fibras, como lo son los parámetros de curvatura, los empalmes entre fibras ópticas o los parámetros externos, debidos a la instalación o temperatura a la que se ve sometida la fibra. A consecuencia de estos se producen atenuaciones en la luz que se transmite a lo largo de la fibra, por lo que principalmente producen una pérdida de potencia de la señal a lo largo de la transmisión, disminuyendo el valor de la amplitud de dicha señal. La clasificación y el desarrollo de las diferentes pérdidas extrínsecas más comunes de la fibra óptica se encuentran detallados en el apéndice II del presente documento.

✓ **Pérdidas intrínsecas**

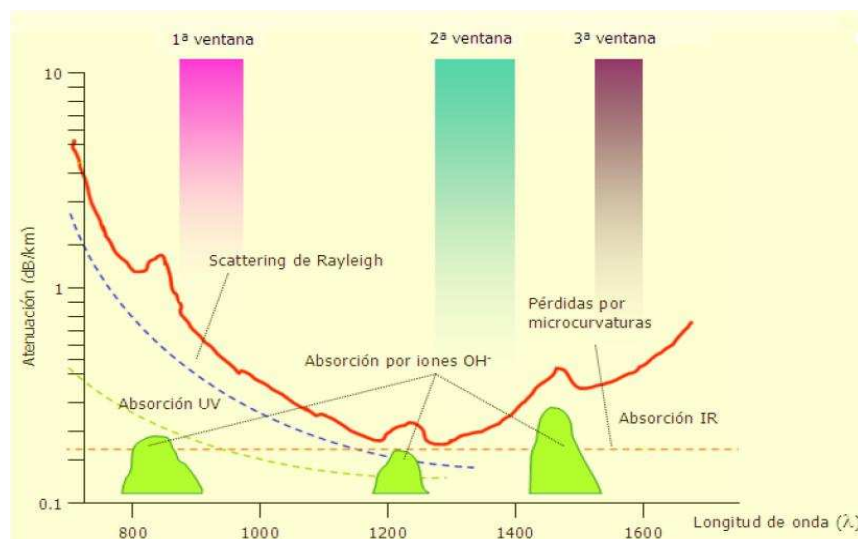
Este tipo de pérdidas se deben a factores intrínsecos a la naturaleza de las fibras, y por tanto propios de la fabricación y funcionamiento operacional de las mismas. Como también ocurre con las pérdidas extrínsecas, estas pérdidas originan disminuciones de potencia en la señal transmitida,

disminuyendo la amplitud de dicha señal. Así por ejemplo, las pérdidas intrínsecas más importantes son:

- Pérdidas inherentes a la fibra durante el proceso de fabricación de la misma.
- Absorción por rayos UV e IR, que originan las denominadas ventanas de operación de la fibra óptica o bandas de longitudes de onda óptimas para la transmisión de luz.
- Reflexión de Fresnel, originada por el salto o variación del índice de refracción en el interfaz de unión entre fibra.
- Scattering de Rayleigh, se produce cuando la luz colisiona en su camino con partículas extrañas al medio continuo por el que se propaga.

#### ✓ **Atenuación total**

Si se suman todas las pérdidas detalladas en los apartados anteriores, es decir, la atenuación producidas por pérdidas intrínsecas y extrínsecas, se obtiene una función matemática que dibuja una curva donde se pone de manifiesto la existencia de tres zonas o ventanas operativas, que justifican su utilización dado el bajo nivel de atenuación que soportan. En la grafica 2.33 se muestra la atenuación de una fibra, donde aparecen las principales fuentes de atenuación :



**Figura 2.33** Grafica de atenuación total en una fibra óptica en función de la longitud de onda.

En la figura 2.33 se observan diversas zonas:

- Una zona por debajo de los 800nm, que no es conveniente utilizar por ser de alta atenuación.
- Una zona por encima de los 1600 nm que presenta problemas de atenuación por el efecto de la radiación. Además, la tecnología de emisores y fotodetectores para esta longitud de onda es muy reciente.
- Tras zonas de mínima atenuación, donde se ajustan las ventanas operativas de trabajo, y por tanto que determinan las longitudes de onda habituales para trabajar.

#### **2.4.2.2 Tipos de transmisores.**

Existen dos tipos de emisores de luz: los emisores de luz coherente y los emisores no coherentes, cuyas características principales se detallan a continuación.

##### Emisores de Luz no coherente: Diodos LED

Los emisores de luz no coherente corresponden a los diodos de luz LED, también conocido como LED (acrónimo del inglés de *Light-Emitting Diode*). Es un dispositivo semiconductor (diodo) que emite luz no coherente de espectro reducido cuando se polariza de forma directa la unión PN del mismo y circula por él una corriente eléctrica. Este fenómeno es una forma de electroluminiscencia. El color de la luz ( y por tanto la longitud de onda) depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo y puede variar desde el ultravioleta, pasando por el visible, hasta el infrarrojo.

El funcionamiento físico consiste en que, en los materiales semiconductores, un electrón al pasar de la banda de conducción a la de valencia, pierde energía; esta energía perdida se puede manifestar en forma de un fotón desprendido, con una amplitud, una dirección y una fase aleatoria. El que esa energía perdida cuando pasa un electrón de la banda de conducción a la de valencia se manifieste como un fotón desprendido o como otra forma de energía (calor por ejemplo) va a depender principalmente del tipo de material semiconductor.

Cuando un diodo semiconductor se polariza directamente, los huecos de la zona p se mueven hacia la zona n y los electrones de la zona n hacia la zona p; ambos



desplazamientos de cargas constituyen la corriente que circula por el diodo. Si los electrones y huecos están en la misma región, pueden recombinarse, es decir, los electrones pueden pasar a “ocupar” los huecos. “cayendo” desde un nivel energético superior a otro inferior más estable.

Todo este proceso emite con frecuencia un fotón en semiconductores de banda prohibida directa o “*direct bandgap*” con la energía correspondiente a su banda. Esto no quiere decir que en los demás semiconductores (semiconductores de banda prohibida indirecta o “*indirect bandgap*”) no se produzcan emisiones en forma de fotones; sin embargo, estas emisiones son mucho más probables en los semiconductores de banda prohibida directa (como el Nitruro de Galio) que en los semiconductores de banda prohibida indirecta (como el Silicio) .

La emisión espontánea, por tanto, no se produce de forma notable en todos los diodos y sólo es visible en diodos LEDs de luz visible, que tienen una disposición constructiva especial con el propósito de evitar que la radiación de evitar que la radiación sea reabsorbida por el material circundante, y una energía de la banda prohibida coincidente con la correspondiente al espectro visible. En otros diodos, la energía se libera principalmente en forma de calor, radiación infrarroja o radiación ultravioleta.

En el caso de que el diodo libere la energía en forma de radiación ultravioleta. En el caso de que el diodo libere la energía en forma de radiación, se puede conseguir aprovechar esta radiación para producir radiación visible, mediante sustancias fluorescentes o fosforescentes que absorban la radiación ultravioleta emitida por el diodo y posteriormente emitan luz visible. Para obtener una buena intensidad luminosa debe escoger bien la corriente que atraviesa el LED.

Para ello, hay que tener en cuenta que el voltaje de operación va desde 1.8 V hasta 3.8 V aproximadamente (lo que está relacionado con el material de fabricación y el color de la luz que emite) y la gama de intensidades que debe circular por él varía según su aplicación. Valores típicos de corriente directa de polarización de un LED corriente está comprendidos entre los 10 y los 40mA. En general, los LEDs suelen tener mejor eficiencia cuanto menor es la corriente que circula por ellos, con lo cual, en su operación de forma optimizada, se suele buscar un compromiso entre la intensidad luminosa que producen (mayor cuanto más grande es la intensidad que

circula por ellos) y la eficiencia (mayor cuanto menor es la intensidad que circula por ellos) .

Tanto los métodos de profusión como de descarga estable son importantes para conseguir bajas pérdidas en los empalmes. Sin embargo, también resulta crucial un buen alineamiento previo de las fibras. Las distintas técnicas de alineamiento pueden clasificarse en fijas y móviles.

#### ✚ Emisores de luz coherente: láser

Los emisores de luz no coherente corresponden a los láseres. El término láser es el acrónimo del inglés amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación (*Light Amplificación by Stimulated Emisión of Radiation*)Un láser toma la forma de un diodo de inyección pn polarizado en directo, en el cual se ha incorporado además de la unión pn, un par de superficies reflectantes que encierran a la unión que permiten el confinamiento óptico de la radiación que se genera por recombinación entre las vecindades de la unión

La emisión de radiación láser se caracteriza por estar compuesta de paquetes de ondas electromagnéticas que poseen todos la misma longitud de onda (monocromaticidad), la misma frecuencia de vibración y están en fase unos con respecto a otros (coherencia). Una fuente de radiación láser emite un haz de rayos luminosos que se propaga en una única dirección del espacio. La alta energía asociada al haz se puede concentrar, por tanto en una pequeña zona del espacio. La densidad de energía en dicha zona puede ser tan grande, que un solo haz de la apropiada longitud de onda puede ser utilizado, por ejemplo, para realizar finos cortes en una plancha de acero.

Debido a las ventajas que presenta este tipo de diodo, tales como elevada potencia de salida ( del orden de 10mW), gran ancho de banda, posibilidad de modulación directa en altas frecuencias (superior a 24 Ghz), ancho espectral angosto y alta eficiencia de acoplamiento con la fibra (entre un 30-50%), el láser es la fuente de luz más destacada en sistemas de transmisión por fibra óptica, sobre todo en los de alta capacidad con grandes longitudes espaciales.

- Estructura y funcionamiento de un láser

El funcionamiento de un láser depende de los elementos básicos y componentes que lo constituyen. Un láser genérico consta de los siguientes elementos funcionales :

- **El sistema de bombeo.** Este sistema es el encargado de suministrar la energía al material que va a producir la emisión estimulada, siendo los más comunes el bombeo óptico y el bombeo por descarga eléctrica.
- **El medio activo.** Este medio es aquel en el que se producirá la emisión estimulada de radiación.
- **La cavidad óptica.** Esta cavidad es el recinto donde se amplificará la radiación de emisión.

Existen cuatro procesos básicos (sistema de bombeo) que se producen en la generación del láser dentro del medio activo, y son los denominados bombeo, emisión espontánea de radiación, emisión estimulada de radiación y absorción.

## **2.5 Cables ópticos**

Las fibras ópticas no suelen encontrarse como elementos independientes, sino que suelen reorganizarse en estructuras constituidas por varias fibras ópticas, bajo una misma tipología física y denominadas cables ópticos. El cable es la estructura que protege a las fibras ópticas de la degradación medioambiental, de daños mecánicos, facilita la manipulación de las fibras y las aísla de las tensiones mecánicas que puedan ocurrir durante el proceso de instalación.

Existe una multitud de tipos de cables ya que se diseñan en función del entorno en el van a ser empleados, desde cables para oficinas, cables para equipos de testeo, cables submarinos, etc. El diseño de un cable se basa además del entorno en tres características de la fibra óptica:

- **La sensibilidad a la curvatura.** Al curvarse la fibra óptica se produce una atenuación adicional, pues ciertos modos de transmisión se escapan del núcleo. Las pérdidas varían exponencialmente con la curvatura y no son apreciables hasta superar un ángulo crítico. Como regla práctica, el radio de

curvatura de la fibra óptica mínimo debe ser 10 veces el diámetro de la protección secundaria de la fibra.

- **La fatiga estática y el envejecimiento.** Los cables deben incluir elementos hidrófugos que protejan a la fibra óptica de la humedad que puede provocar el aumento del tamaño de las fisuras producidas por la tracción a la que se somete.

### 2.5.1 Composición y estructura de los cables ópticos.

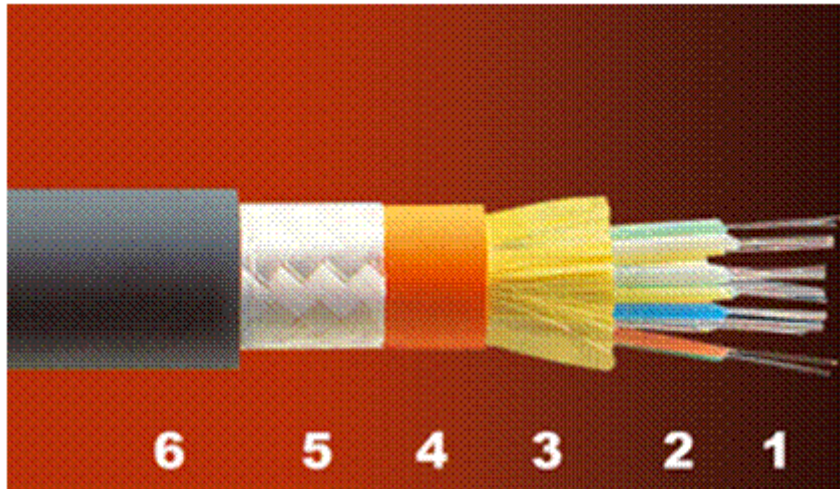
Teniendo en cuenta lo anterior, los cables de fibra óptica se fabrican con varios materiales para adecuarse al entorno de la instalación. Así pues, los cables exteriores deben ser fuertes, a prueba de intemperie, resistentes a la radiación ultravioleta (UV) y a las variaciones máximas de temperatura que se pueden presentar durante el proceso de instalación y a lo largo de su vida. Por otro lado, los cables interiores deben ser fuertes a la par de ser flexibles, con el grado requerido de resistencia al fuego o de emisión de humos.

Los componentes más comunes son: polietileno, cloruro de polivinilo (PVC), poliuretano, hidrocarburos y polifluorados, vinilacetato de etileno, cabos de aramida, etc., además de otros materiales para la coraza de acero, el hilo rasgado, el miembro central y el relleno intersticial. El cable óptico está constituido por una de elementos genéricos presentes en cualquier tipo de cable, independiente de la estructura y composición del mismo. Se puede presentar al cable óptico como una estructura constituida por 6 capa concéntricas, siendo estas:

1. **Fibra óptica.** Esta capa está constituida por las fibras ópticas encargadas de transmisión de información.
2. **Protección secundaria,** que consiste en una protección mecánica que suele ser holgada o densa, de relleno intersticial.
3. **Elemento de tracción,** generalmente de aramida, Kevlar o fibra de vidrio.
4. **Cubierta interna** protectora, de PE, PVC o poliuretano.
5. **Coraza** protectora, generalmente de hacer.

6. **Cubierta exterior** protectora, de PE,PVC, poliuretano o fluoropolímeros.

En la siguiente figura 3.34 se muestra los elementos más importantes de un cable de fibra óptica descritos anteriormente y codificados con numerología del 1 al 6 [40]:

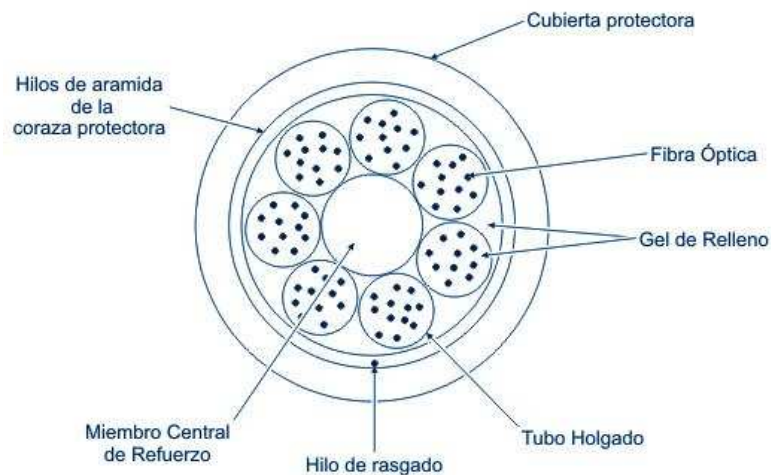


**Figura 2.34** Estructura genérica de un cable óptico.

Existen dos estructuras de cables de fibras ópticas: estructura holgada y estructura densa.

➤ **Cable de estructura holgada.**

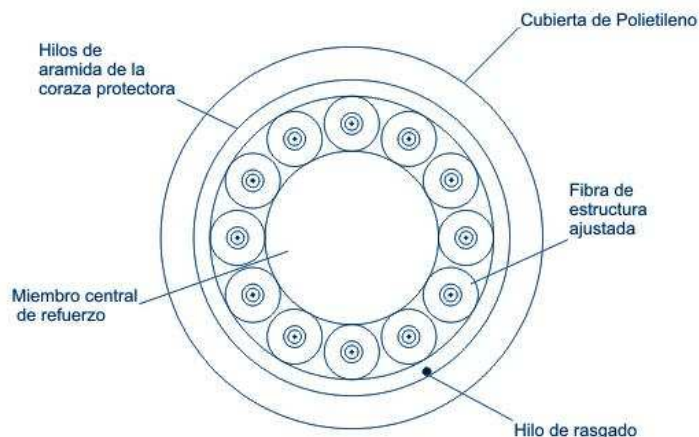
En un cable de estructura holgada la fibra o fibras ópticas (se suelen agrupar en grupos de 6, 8, 10 o 12 fibras) (aunque en la actualidad se pueden realizar de 1, 2, 3 o más fibras de acuerdo al pedido del cliente) se alojan holgadamente dentro de una protección secundaria de un diámetro de entre 1 y 3mm, y un espesor de 0.25mm. A su vez, como se muestra en la siguiente figura 2.35, esta protección secundaria puede ir junto con otras y un elemento de refuerzo central (de acero con un diámetro de 0.7 y 4mm) dentro de una coraza de hilos de aramida e hilos rasgados rellena con un gel. Todo el conjunto está rodeado por una funda protectora de polietileno o PVC.



**Figura 2.35** Cable con estructura holgada

➤ **Cable de estructura densa.**

En un cable de estructura densa, cada fibra óptica está ceñida a su protección secundaria que consiste en una cubierta plástica con un diámetro de 900µm y un espesor de entre 0.5 y 1mm, como se muestra en la figura 2.36. La misión de esta protección ceñida es proporcionar soporte y protección a cada fibra individualmente, además de identificar cada fibra por el color de su recubrimiento.



**Figura 2.36** Cable con estructura densa

En base a la configuración genérica anterior y sus respectivas capas concéntricas, existen varias estructuras básicas de cables de fibras ópticas. Los más comunes son los cables de estructuras holgada y los cables de estructura densa o ajustada, aunque existen otras estructuras menos significativas tales como los cables blindados, aéreos autosoportantes, submarinos, OPGW, híbridos, en abanico, etc.

**2.5.2 Estándares de los cables ópticos**

Al igual que ocurriera con los estándares de la fibra óptica, los cables como parte integrante de la tecnología de transmisión óptica aparecen normalizados según los estándares internacionales de la ITU-T G.65x, Así pues, cabe destacar un estándar

propio del cable óptico elaborado por la EIA que establece cierto código de reconocimiento y diferenciación de las fibras o tubos ópticos entre sí que conforman un cable óptico, tanto para cables de estructura holgada como estructura ajustada. El estándar registrado es el EIA/TIA-598-A, que establece un código de colores para cada cubierta de fibra óptica, homogenizando en único criterio la identificación de la fibra.

A continuación en la figura 2.37 se muestra el estándar EIA/TIA-598-A, también reconocido por IEC 60304.

	1 = AZUL
	2 = NARANJA
	3 = VERDE
	4 = MARRON
	5 = GRIS
	6 = BLANCO
	7 = ROJO
	8 = NEGRO
	9 = AMARILLO
	10 = VIOLETA
	11 = ROSA
	12 = CELESTE

**Figura 2.37** Código de colores de fibras EIA/TIA-598-A

En la figura 2.37 aparecen la coloración para identificación de fibras de la 1 a la 12. Sin embargo, no todas poseen esta configuración. Los cables ópticos pueden reorganizarse en grupos de fibra de 4, 8, 12, 24, 64, 144, etc...por lo que es necesario extrapolar la coloración anterior a las agrupaciones de fibra. Así pues, para identificar cables constituidos de hasta 12 fibras ópticas, basta con las indicaciones de la tabla anterior. Pero en el caso de cables ópticos constituidos por más de 12 fibras, es necesario reagrupar las fibras en tubos de diferentes colores, cada uno de los cuales estará constituido por varias fibras.

Por ejemplo, un cable de 64 fibras, está constituido por 8 tubos de 8 fibras cada uno. Un cable de 24 fibras, puede estar constituido por 4 tubos de 6 fibras cada uno. Un cable de 144 fibras, puede estar constituido por 12 tubos de 12 fibras cada un, etc. En la figura 2.38 se muestra lo expuesto. De esta forma, se extrapola la identificación de la tabla a todas las combinaciones de fibra posibles del mercado. A continuación se muestra las tablas de identificación de los cables ópticos de configuraciones típica: de 24, 48, 64 y 144 fibras .

Cable 24 FO		FIBRA					
		1	2	3	4	5	6
TUBO		7	8	9	10	11	12
		13	14	15	16	17	18
		19	20	21	22	23	24

Cable 48 FO		FIBRA							
		1	2	3	4	5	6	7	8
TUBO		9	10	11	12	13	14	15	16
		17	18	19	20	21	22	23	24
		25	26	27	28	29	30	31	32
		33	34	35	36	37	38	39	40
		41	42	43	44	45	46	47	48

Cable 64 FO		FIBRA							
		1	2	3	4	5	6	7	8
TUBO		9	10	11	12	13	14	15	16
		17	18	19	20	21	22	23	24
		25	26	27	28	29	30	31	32
		33	34	35	36	37	38	39	40
		41	42	43	44	45	46	47	48
		49	50	51	52	53	54	55	56
		57	58	59	60	61	62	63	64

Cable 144 FO		FIBRA											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUBO		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
		25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
		49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
		73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
		85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
		97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
		109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
		121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132
		133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144

**Figura 2.38** Colores del estándar EIA/TIA-598-A

Sin embargo los fabricantes españoles manejan otra tabla de colores, que no se guía de acuerdo a la norma internacional. Y que es importante tenerla presente. En la figura 2.39 se muestra los colores adoptados por fabricantes españoles. En aquellos casos en los que las fibras no convivan en tubos independientes (es decir, fibras incluidas dentro de un mismo tubo), y existan más de 12 fibras por cable, los colores de repiten y se diferencian mediante números o bandas de color oscuro (tantas bandas como series existan).

COLOR	FIBRA
Verde	1
Rojo	2
Azul	3
Amarillo	4
Gris	5
Violeta	6
Marrón	7
Naranja	8
Blanco	9
Negro	10
Rosa	11
Turquesa	12

**Figura 2.39** Colores del estándar adoptado por fabricantes españoles.



Por otro lado, el color de los tubos holgados o ajustados no consiste en una repetición de los anteriores como ocurre en el caso del estándar EIA/TIA-598-A. En este caso el código de color adoptado por el estándar de fabricantes españoles es el siguiente en la figura 2.40:

	COLOR	TUBO
	Blanco	1
	Rojo	2
	Azul	3
	Verde	4

**Figura 2.40** Colores del estándar EIA/TIA-598-A

Si el cable posee más de 4 tubos, entonces los colores se repiten y se diferencian mediante números o bandas de color oscuro (tantas como series existan).

## 2.6 Empalmes y conectores ópticos

En cualquier instalación de red óptica, se han de tener en cuenta las terminaciones de las fibras, dado que poder dar el servicio adecuado, es necesario que se conecten a ciertos elementos de terminación que se encargan de finalizar la red. Además, en muchas ocasiones no es viable realizar un diseño completo de una red sin tener que realizar divisiones o segregaciones en los cables de fibra, uniones, empalmes, etc. Dado que una de las tipologías más utilizadas en este campo es la red en estrella o árbol jerárquico, que tiene como consecuencia lo anterior.

Estos empalmes y conectores son muy influyentes en el funcionamiento del sistema, dado que son elementos ajenos a la fibra que se incorporan a la misma, introduciendo generalmente ciertas pérdidas en la señal transportada. Es por tanto imprescindible reflexionar las características y clasificación más importantes de ambos casos.

### 2.6.1 Empalmes ópticos

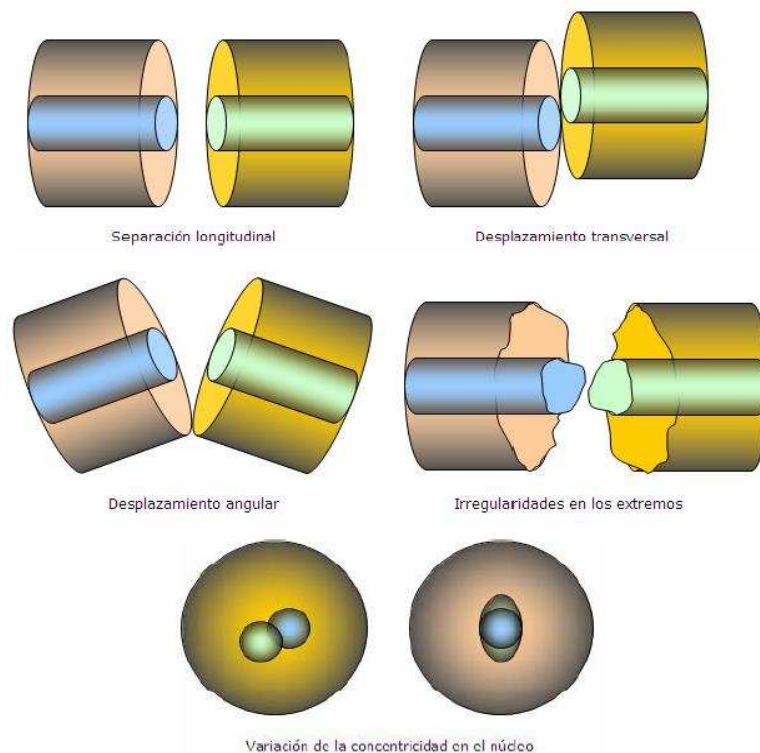
Un empalme óptico consiste en la técnica que se utiliza para unir permanentemente dos fibras ópticas entre sí mediante una conexión de bajas pérdidas. Para poder caracterizar el empalme con pérdidas muy bajas, es necesario que el núcleo de ambas fibras a unir esté correctamente alineado con las zonas activas del emisor y el receptor de luz. Las pérdidas que se originan pueden ser principalmente de dos tipos: las causadas por factores externos, y que se relacionan con el método

utilizado para la unión; y las debidas a factores intrínsecos y que se encuentran relacionados con las propiedades de la fibra.

Los factores intrínsecos a las figuras que ocasionan pérdidas, son irrecuperables dado que son inherentes a la composición física y estructura de la fibra óptica, y no pueden ser eliminados durante el proceso de conexión de fibras. A nivel de funcionamiento del sistema, estas pérdidas se consideran despreciables al ser comparativamente mucho menores que las pérdidas debidas a factores externos.

- Irregularidades en los extremos de las fibras, causados durante el proceso de corte, extracción y fabricación de la fibra.
- Núcleos desalineados de las fibras a unir, por desplazamiento de una de las fibras respecto a la otra, o por variación de la concetricidad.
- Cambio en el índice de refracción de las fibras, provocando esto la reflexión de señales por desplazamiento de los índices.
- Desplazamiento transversal de los extremos de la fibra, lo que supone una disminución de la sección útil del núcleo, y por tanto, una diferencia en el canal físico de transmisión de luz.
- Separación longitudinal de los extremos a unir, provocando una variación en el índice de refracción del medio para la luz incidente en el núcleo.
- Desplazamiento angular de los ejes de las fibras enfrentadas, modificando el ángulo de incidencia del haz de luz en la segunda sección de la fibra, lo que se traduce en energía lumínica perdida.

En la figura 2.41 se representa algunos de los factores mencionados.



**Figura 2.41** Factores externos producidos en las uniones de la fibra óptica

Observando los casos anteriores, se extrae en conclusión que es muy necesario tener cierta diligencia a la hora de realizar uniones entre fibras ópticas, dado que pequeñas irregularidades puede dar lugar a importantes pérdidas en la transmisión. Es por ello, que existen diversas técnicas de empalmes de fibra óptica, que intentan optimizar la unión física entre fibras, intentando reducir en mínimo los efectos descritos anteriormente. Las técnicas de empalmes ópticos más importantes son las siguientes :

- Empalme por fusión, en el que se sueldan eléctricamente las dos fibras a unir.
- Empalme mecánico, en el que se utiliza un conector para unir ambas fibras.
- Empalmes con métodos adhesivos, en el que se conexionan la fibras a través de pegamentos rápidos.

### 2.6.2 Protección del empalme

Generalmente la cubierta de las fibras se elimina previamente a la realización del empalme. Durante el proceso consiste en eliminar las cubiertas, cortar las fibras y situarlas en la máquina empalmadora, e incluso en el proceso de calentamiento, se producen grietas en las fibras que debilitan su resistencia. La resistencia de las

fibras tras realizar un empalme se reduce en un 10% aproximadamente, por lo que se hace necesaria la posterior protección de la zona tratada.

A la hora de seleccionar un método de protección se deben considerar factores tales como: fiabilidad (variación de las pérdidas de empalme y rotura), facilidad de manejo y costo. Cuando el método de protección o su diseño no es bueno, las pérdidas del empalme sufren gran variación con la temperatura. Si por el contrario se realiza de forma adecuada, las pérdidas varían tan sólo 0,02 dB para rangos de temperatura desde 30°C hasta + 60°C [38].

De entre los distintos métodos de protección utilizados destacan: una ranura con forma de V (V-groove) de plástico con cubierta, un par de láminas de cristal cerámico, un tubo que se contrae con el calor junto con una varilla de hacer o un molde de plástico. Finalmente, para la sujeción se utilizan como adhesivos una reacción química, la función del material o resinas fotosensibles .

El procedimiento general consiste en pegar la zona de empalme sobre almohadillas autoadhesivas existentes en bandejas de empalmes, rodeándose como una bisagra autoadhesiva, o con manguitos termo contráctiles (sleeves), los cuales poseen un nervio central que le proporcionan robustez al empalme. Estos se adhieren al empalme a través de calor; el manguito posee un calor generalmente verde que se va tornando más oscuro a medida que se le proporciona calor. Cuando se torna totalmente negro, indica que ya está bien sellado el empalme. Por último estos se colocan a su vez en una bandeja dentro de la caja de empalmes.

### **2.6.3 Conectores ópticos**

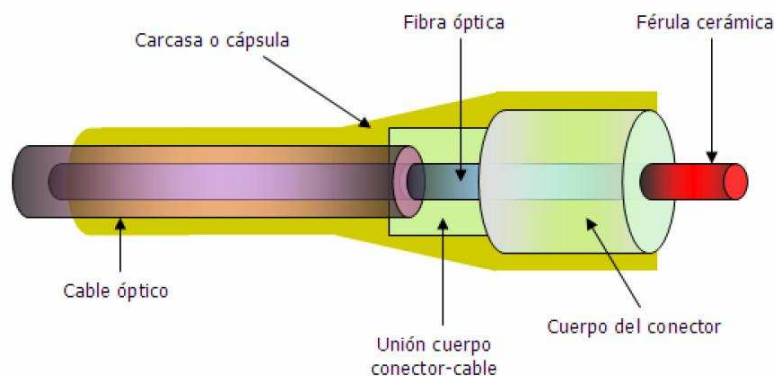
El conector óptico es un dispositivo que dos fibras ópticas, de manera repetible con bajas pérdidas ópticas de conexión. Generalmente las pérdidas que se originan en las conexiones se deben a los desplazamientos laterales de los ejes de las fibras. Los conectores se utilizan generalmente para la terminación de fibras ópticas, ya sea conectorización a otras fibras o a paneles de distribución de señal, en los que es necesariamente imprescindible este tipo de elementos.

Para poder realizar un enfrentamiento entre dos conectores de fibra óptica, bien tipo fibra a fibra, o fibra a panel, es necesario la utilización de un elemento denominado adaptador que permite un correcto posicionamiento enfrentado de dos fibras, ya

sean idénticas y diferentes. Cualquier conector está constituido básicamente por un casquillo o férula, un cuerpo, una cápsula o corona y un manguito descargador de tensión, que se detallan a continuación :

- El casquillo, férula o ferrule es la porción central del conector que contiene a la fibra óptica y puede estar fabricado a partir de cerámica, acero o plástico. En la mayoría de los conectores existentes, el casquillo cerámico ofrece las menores pérdidas por inserción y la mejor receptividad.
- La cápsula y el cuerpo pueden ser de plástico, y para realizar la conexión, la cápsula se puede atornillar, cerrar girando o ajustar con un muelle.
- El manguito descargador de tensión libera de tensiones a la fibra óptica.

En la figura 2.42 se representa los elementos que componen un conector de fibra óptica.



**Figura 2.42** Elementos básicos de un conector de la fibra óptica

Existen en el mercado una gran variedad de conectores de fibra óptica debido a la complejidad del problema de unión entre dos fibras ópticas y a la gran cantidad de fibras diferentes existentes. Los conectores que habitualmente se utilizan para terminar una fibra óptica son los conectores ST, LC, FC, SC, bicónico, SMA.FDDI, MT-Array y D4.

#### 2.6.4 Acopladores ópticos

El acoplador óptico se conoce comúnmente como adaptador óptico, y consiste en una transición mecánica para poder dar continuidad al paso de la luz de un extremo

conectorizado de un cable de fibra óptica a otra. Es por tanto, un componente pasivo. Se utilizan generalmente en los distribuidores para facilitar la desconexión y el cambio rápido, acoplando el *pigtail* ( o cable de terminación del conector determinado) que se haya empalmado al cable de fibra con el panel de conexión o *patchcord* que se conecta a los equipos receptores o transmisores. También se utilizan para conectar un tramo de fibra a los equipos de medida. Los acopladores se pueden presentar con las siguientes características:

- **Acoplador puro** : estructura con N puertos de entrada y M puertos de salida ( $M > 2$ ). Este dispositivo divide el campo que por uno de los puertos de entrada entre los M puertos terminales de salida.
- **Divisor (splitter) y tap**: estructura con 1 puerto de entrada y N puertos de salida ( $M > 2$ ). Este dispositivo divide el campo que entra por el puerto de entrada entre los N puertos terminales de salida. La diferencia entre un divisor y un tap es el elevado coeficiente de acoplamiento en este último.
- **Combinador**: estructura con N puertos de entrada y un puerto de salida ( $M > 2$ ). Este dispositivo combina la señal que entran por los N puertos de entrada, originándose una única señal por el puerto Terminal de salida.

El funcionamiento general de un acoplador, ya sea acoplador puro, divisor o combinador puede estar basado en dos modos principalmente: acoplo por fusión o acoplo por división de potencia, que se detallan a continuación.

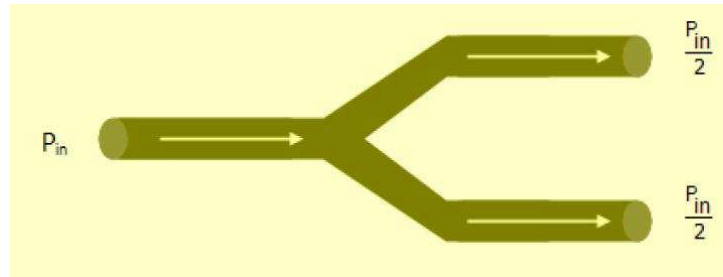
#### **2.6.4.1 Tipos de acopladores ópticos**

El funcionamiento de un acoplador puede venir dado por uno de los siguientes tipos que se explican a continuación.

##### **1. Acoplo por fusión**

En el acoplo por fusión el objetivo es acercar los núcleos de las fibras entrantes en el acoplador lo suficiente como para que pueda existir una transferencia de potencia efectiva entre modos. Se fabrican por el método de prueba y error, y su mayor problema es que dependen de la longitud de onda. En el proceso de funcionamiento existirán pérdidas adicionales que indicarán si el dispositivo es bueno o no.

En general, el acoplamiento de modos entre fibras es factible únicamente entre fibras monomodo, dado que en las fibras multimodo existen diferentes modos de transmisión en la fibra y el resultado no sería el esperado. En la figura 2.43 se muestra la imagen del funcionamiento del acoplador por fusión.



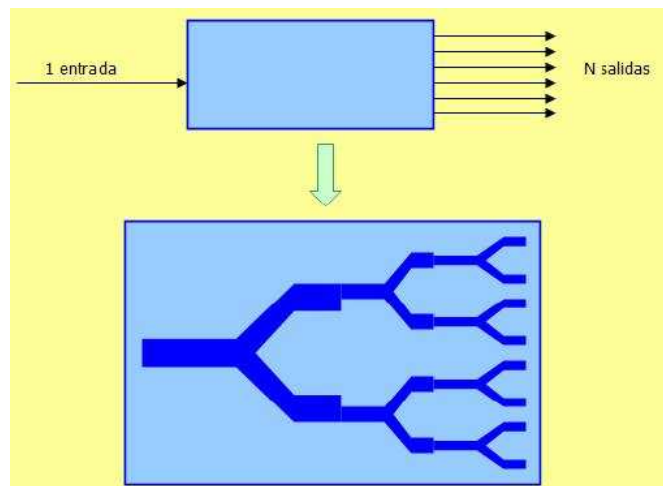
**Figura 2.43** Acoplador por fusión.

## 2. Acoplo por división de potencia

En el acoplo por división de potencia la información que encuentra por el puerto de entrada se reparte equivalentemente por todas las puertas de salida y de forma homogénea. Este proceso de división de la potencia lleva asociada unas pérdidas, por lo que la potencia de salida de una puerta cualquiera responde a la siguiente ecuación :

$$Potencia_{salida} = \frac{Potencia_{entrada}}{N} - Pérdidas \quad (69)$$

En la figura 2.44 se puede observar el acoplo por división de potencia.

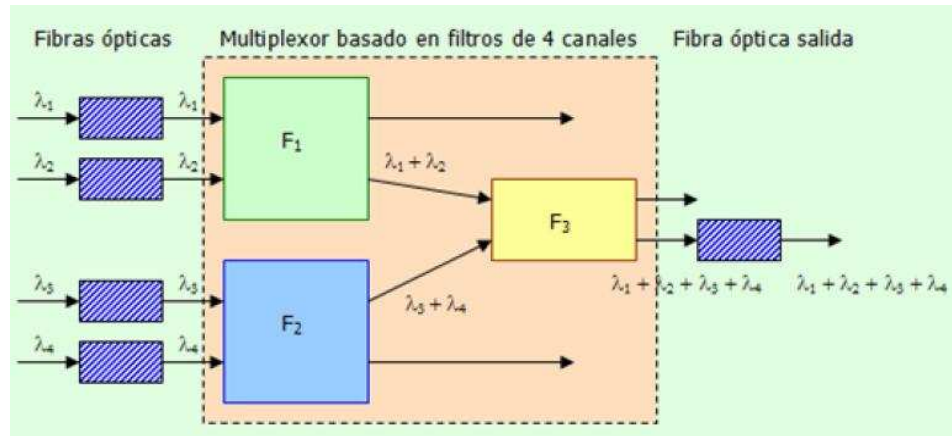


**Figura 2.44** Acoplador por división de potencia

## 2.7 Multiplexores basados en filtros

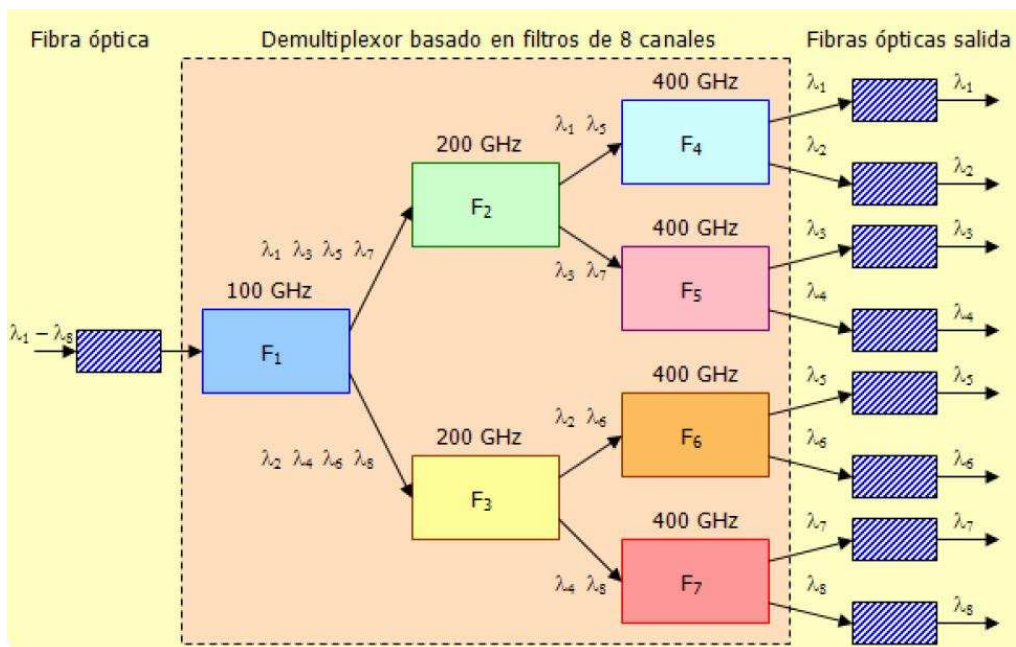
Los multiplexores y demultiplexores basados en filtros se apoyan en el fenómeno de la interferencia óptica para seleccionar una longitud de onda. A partir de la

combinación de varios filtros se puede construir multiplexores y demultiplexores con N canales, donde  $N = 2n$ . En la figura 2.45 se encuentra un multiplexor de 4 canales construido mediante la combinación de 3 filtros. En esta estructura la diferencia de longitud entre los brazos de los filtros es tal que la potencia óptica de las dos entradas sólo aparece en una salida.



**Figura 2.45** Multiplexor óptico de 4 canales con 3 filtros de 2x2

Por otra parte, la estructura de un demultiplexor es similar. En la figura 2.46 que se muestra a continuación se puede observar un demultiplexor de 8 canales, construido a partir de 7 filtros, con una separación de 100 GHz entre canales consecutivos. En cada filtro las longitudes de onda se reparten entre cada salida [39].



**Figura 2.46** Demultiplexor óptico de 8 canales con 7 filtros de 2x2

En el primer filtro la separación frecuencial entre los canales de cada salida es de 100GHz. Por la rama superior se dirigen los canales  $\lambda_1$  y aquellos que estén



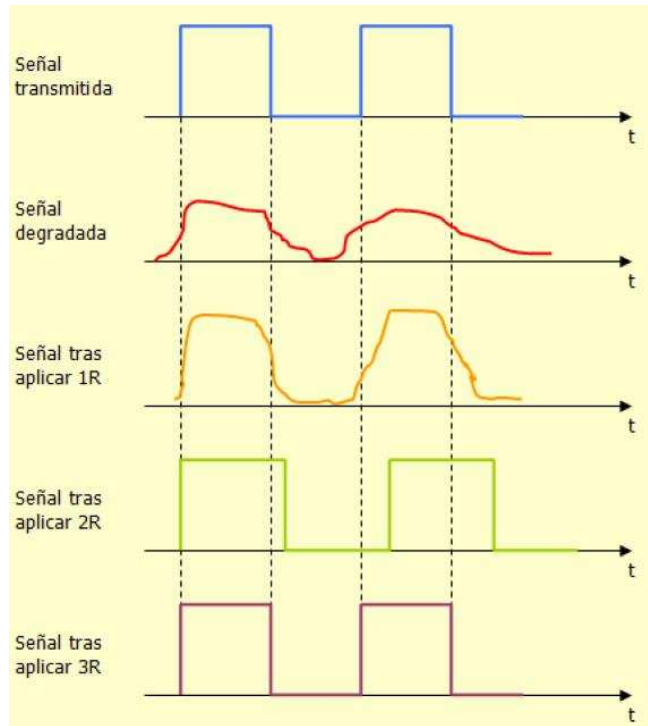
respecto de éste a una distancia que sea múltiplo impar de 100 GHz, mientras que por la rama inferior se dirigen los canales  $\lambda/2$  y aquellos que estén a una distancia respecto de éste que sea múltiplo par de 100 GHz. En las sucesivas etapas la separación frecuencial es el doble de la anterior logrando demultiplexar los 8 canales en total.

### 2.7.1 Amplificadores ópticos.

Cuando una señal se propaga por la fibra óptica se necesita emplear regeneradores de señal para amplificar la misma, debido a los efectos de la atenuación y la dispersión, así como de la longitud máxima permitida para la fibra entre el transmisor y receptor, que no alcanza para cubrir toda la distancia del enlace. Inicialmente se empleaban regeneradores o repetidores eléctricos. Estos realizan una conversión de la señal del dominio óptico al eléctrico, amplifican la señal eléctrica y la resincronización, recuperando su forma, y finalmente realizan una conversión del dominio eléctrico al óptico. Atendiendo al procesado que se efectúa sobre una señal, los regeneradores se clasifican en tres tipos :

- **1R (Regeneración).** Amplifican la señal. Son por tanto transparentes al formato de la modulación y se pueden aplicar a señales analógicas. Por el contrario, añaden ruido y no contrarrestan los efectos de la dispersión y de las no linealidades.
- **2R (Regeneración y reformación).** Además de amplificar, se recupera la forma de la señal transmitida, por lo tanto este de amplificadores sólo son aptos para señales digitales.
- **3R (Regeneración, reformación y resincronización).** Además de amplificar y regenerar la señal recuperando la forma, la sincroniza. Este tipo de regeneradores cancela los efectos de las no linealidades y de la dispersión.

En la figura 2.47 se muestra la imagen de ondas de entrada y de salida de los diferentes tipos de regeneradores 1R, 2R, 3R.



**Figura 2.47** Comportamiento general de los diferentes regeneradores de señal.

Estos regeneradores que actúan en el dominio eléctrico, no son adecuados cuando se trabaja con sistemas con varias longitudes de onda y de alta velocidad, además de ser caros y complejos debido al uso de electrónica de alta frecuencia. Por ello surgen los amplificadores ópticos.

### 2.7.2 Características generales de un amplificador óptico.

Los amplificadores ópticos generan una réplica de la señal de entrada pero con mayor nivel de potencia, operando completamente en el dominio óptico. Además pueden emplearse en otros procesos como la conmutación, la demultiplexación, o bien en la conversión de longitud de onda, aprovechando su comportamiento no lineal.

Las ventajas de estos dispositivos frente a los regeneradores son las siguientes :

- Funcionamiento independiente del tipo de modulación de la señal.
- Amplio ancho de banda, por lo que amplifica varias longitudes de onda simultáneamente.
- Mayor simplicidad y por tanto menor probabilidad de fallos.
- Menor costo que los regeneradores.

- Permiten emplear reflectómetros ópticos para el testeo y supervisión de las líneas de fibra óptica.
- Pueden ser integrados.

Por otro lado, las limitaciones más importantes que supone el empleo de amplificadores ópticos son las siguientes :

- Introducen un ruido adicional que es amplificado junto con la señal.
- Al no regenerar la señal se produce un efecto acumulativo de la dispersión.
- Su ancho de banda es finito por lo que limita el número de canales en los sistemas WDM.
- Su ganancia no es uniforme en todo el rango de amplificación, por lo que debe ser ecualizada.

Existen diferentes tipos de amplificadores ópticos, clasificados de acuerdo a dos criterios:

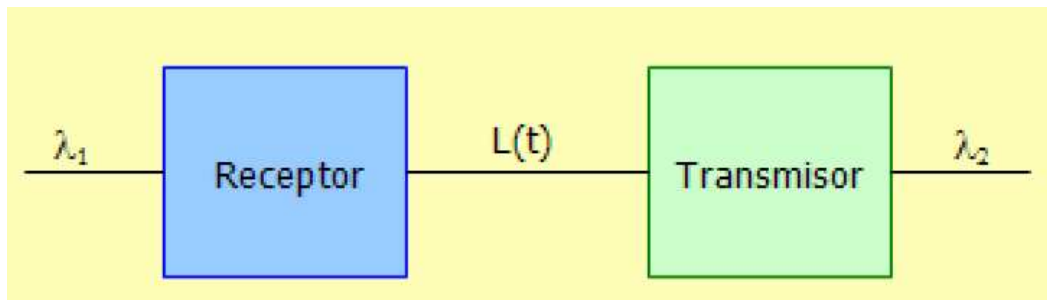
- Según su aplicación, se clasifican en amplificadores de línea, preamplificadores y amplificadores de potencia.
- Según su estructura y funcionamiento, se clasifican en amplificadores ópticos de semiconductor y amplificadores ópticos de fibra dopada.

### **2.7.3 Conversores ópticos de longitud de onda**

En una red óptica de comunicaciones la información no es transmitida en todo su recorrido en una misma longitud de onda. Para realizar un máximo aprovechamiento de las ondas disponibles se realiza el proceso de conversión de longitudes de onda.

Un primer esquema para la realización de este proceso es un tratamiento optoelectrónico de la señal original, como se muestra en la figura 2.48 El sistema equivalente a un regenerador electrónico. La señal de entrada incide en un receptor óptico obteniéndose una réplica eléctrica de la entrada. La señal eléctrica actúa

sobre un diodo láser que emite una longitud de onda distinta de la señal de entrada, realizándose así la conversión de longitud de onda.



**Figura 2.48** Comportamiento de un conversor e longitud de onda.

Para realizar este proceso sin necesidad de cambiar la señal al dominio eléctrico se emplean técnicas en las que intervienen procesos no lineales en los que a partir de la longitud de onda inicial y de otra auxiliar se genera una nueva señal con las mismas características que la señal inicial salvo en la longitud de onda. Concretamente los más utilizados son :

- Conversor de longitud de onda basado en XGM, contruidos a partir de amplificadores ópticos semiconductores.
- Conversor de longitud de onda basado en filtros y SOA, contruidos por un filtro con SOA en cada brazo.
- Conversor de longitud de onda basado en FWM, contruidos utilizando una configuración a partir del fenómeno de mezclado de cuarta onda.

## **CAPÍTULO 3**

### **3. IMPLEMENTACIÓN DE FTTH EN LA CIUDADELA KENNEDY NORTE.**

A través de éste capítulo, se definirá de manera sencilla e ilustrativa, el procedimiento de planificación, diseño e instalación de una red FTTH, cumpliendo los parámetros esenciales de alta calidad y de bajo costo sobre una estructura física determinada. Para ello, se realizará un estudio detallado de todas las recomendaciones necesarias y requerimientos básicos o mínimos requeridos a la hora de diseñar e instalar una red FTTH y satisfacer las necesidades presentes y futuras en cuanto a su capacidad, servicios distancia de transmisión y calidad del dicha red.

Estos parámetros detallados en el *Capítulo 1* del presente trabajo de tesis, y de los cuales sobresalientes son: alcance de una capacidad mínima de velocidad de transmisión de 1 Gbps a distancias superiores a 10 Km y con un periodo de vida útil de más de 50 años. El capítulo se encuentra conformado por los pasos para el diseño de la red FTTH, y la aplicación e instalación del diseño proyectado para una sección de la ciudad de Guayaquil, específicamente en la ciudadela Kennedy Norte como plan piloto de proyecto para su posterior expansión en el país.

#### **3.1. Diseño y planificación de una red FTTH**

Durante el desarrollo de éste documento se describirán los parámetros más interesantes e importantes en la planificación de la red FTTH. Cabe indicar que no se llevará a cabo un estudio profundo de la red en todos sus niveles, sino que se realizará a nivel físico con una configuración pasiva, debido a que la infraestructura suele ser la más desconocida dentro de las redes extendidas por las empresas de telecomunicaciones.

### 3.1.1 Niveles de una red FTTH

La estandarización referente a los niveles estructurales y funcionamiento de una red FTTH no están definidas, excepto a nivel físico. Sin embargo el modelo común llamado OSI, se constituye en el utilizado por algunas empresas. La Comisión Sueca de Tecnología de la información (*Swedish TI-Commission*), recoge un diseño de niveles estructurales de forma vertical, el más utilizado por los diseñadores de redes de FTTH y que es el utilizado en presente trabajo [45]. En la gráfica de la Fig. 3.1 lo anterior se expresa de manera más explícita.



**Figura 3.1** Niveles estructurales de una red FTTH

Como se puede observar en la misma figura, la red FTTH está estructurada en cinco niveles. Ellos son:

- **Nivel de aplicación:** este nivel es el más cercano al usuario final y considerado como último. En él se incluyen los equipamientos, es decir el hardware, software y la información descifrada.
- **Nivel IP:** hace referencia al servicio de forma global de Internet ofrecido por el operador de red hasta el usuario final, en los que quedan definidos las tablas de enrutamientos entre usuarios.
- **Nivel de transmisión:** en este nivel se recogen todas las conexiones lógicas por encima del nivel físico y permiten la comunicación entre los nodos, es decir hacen referencia a la transmisión, así como a un correcto funcionamiento de los canales de tráfico que conforman la red.
- **Nivel físico:** contiene todo lo que involucra los cables ópticos, microcables, fibras ópticas, fibra oscura y antenas transmisoras; es el nivel que abarca la infraestructura física por donde viaja la información. La fibra óptica debe tener un período de vida mecánico similar al de los hilos. Estos requerimientos futuros implican una mayor vida útil a la red para futuras planificaciones e incrementos de nuevos servicios.
- **Nivel de soporte:** es el nivel más bajo de la red física, también denominado nivel de conductos. Incluyen todos los conductos, especificando sus dimensiones estándar, estructuras de antenas, materiales de red, entre otros, con un periodo mínimo de vida de 50 años. El propietario de la red es el encargado de este nivel, ya que es el que invertirá en materiales que deben alcanzar las fechas de planificación a largo plazo. Gran parte de este nivel pertenece al diseño físico de una red FTTH.

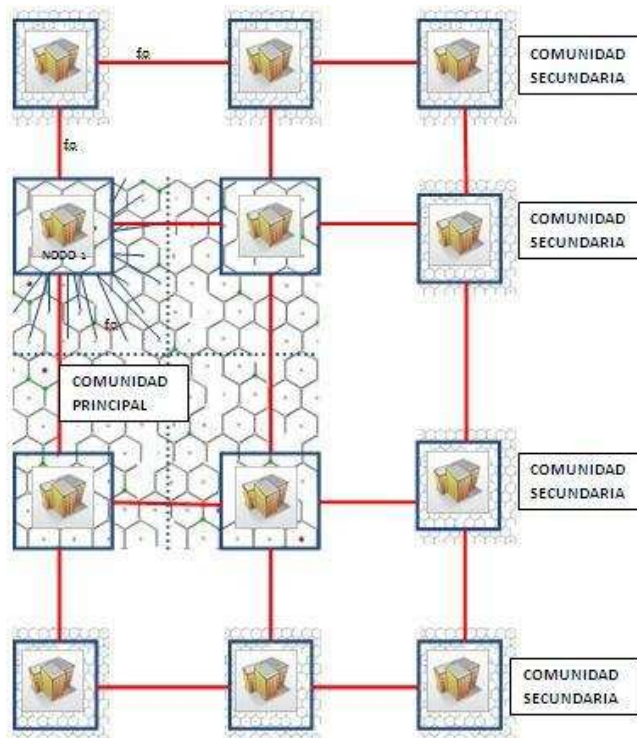
El diseño y planificación del presente capítulo está basado en el *nivel de soporte*, y *nivel físico*, siendo este último sobre el que mayor incidencia tendrá el trabajo de ingeniería de red. Por tanto, sólo se realizará un detalle de una red PON pura, sin incluir elementos activos a la red FTTH a diseñar.

### 3.2 Infraestructura de transmisión por fibra óptica.

Se crea a través de una malla fina de conductos y cables entre una comunidad principal y el resto de las comunidades. Una red mallada ofrece una elevada redundancia y por tanto la posibilidad de balancear el tráfico de información, entre el resto de las comunidades. Es decir que se originarán diferentes caminos entre los nodos. Funciona tanto en una pequeña ciudad como para todo un país. La infraestructura FTTH ofrece la posibilidad de ser utilizada por otros operadores, abierta a la multipropiedad, servicios y transmisión, tanto por el propietario de la red como por otros operadores de cable dedicados a las telecomunicaciones.

Esta propiedad de la red permite considerar la opción de alquiler como un servicio más. Toda la información que viaja a través de ésta infraestructura lo hace a través del protocolo de comunicación IP. Esto permite aprovechar las propiedades de los enrutadores (“routers”) para encontrar la mejor ruta o vía de transmisión en la red, asegurando otros caminos u otras alternativas, cuando se presente tráfico en posibles horas picos. La redundancia entre nodos en una misma comunidad y entre comunidades es imprescindible para crear una red robusta, al conectarse en forma de anillo estará preparada para cortes inesperados, es decir una red redundante.

En la Fig. 3.2 se muestra una imagen representativa de lo anterior.



**Figura 3.2** Infraestructura general de la red de fibra óptica.



### 3.2.1 Terminología según topología de red

Lo significativo de esta red, supone que la misma debe estar dotada con una elevada protección y seguridad, capaz de hacerla lo menos vulnerable posible. Mientras mayor sea la extensión de la red, mayor será el volumen de tráfico, por eso su topología deberá diseñarse para que cumpla con el requisito de vulnerabilidad anteriormente mencionado. Sin embargo, los estudios no se realizan en base a la red global, sino más bien en dimensiones pequeñas territorialmente hablando, y de acuerdo al crecimiento se alcanza una red global.

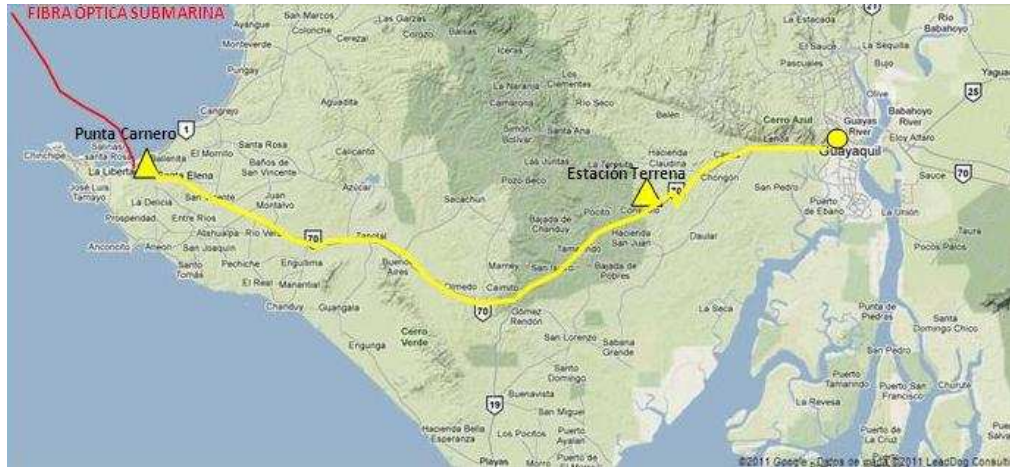
Así pues, la red global de fibra se subdivide, de mayor a menor escala en: *red regional, red municipal, red urbana* y *red de acceso*.

➤ **Red nacional**

La red nacional conecta todas las regiones de un mismo país y se encuentra conectada con redes internacionales de otros países. Este tipo de red posee una elevada seguridad y generalmente suele tener pocos propietarios. La Fig.3.3 muestra un esquema general de la red nacional ecuatoriana de fibra [6], mientras que en la Fig. 3.4 se indica la ruta de acceso internacional, con cable submarino.



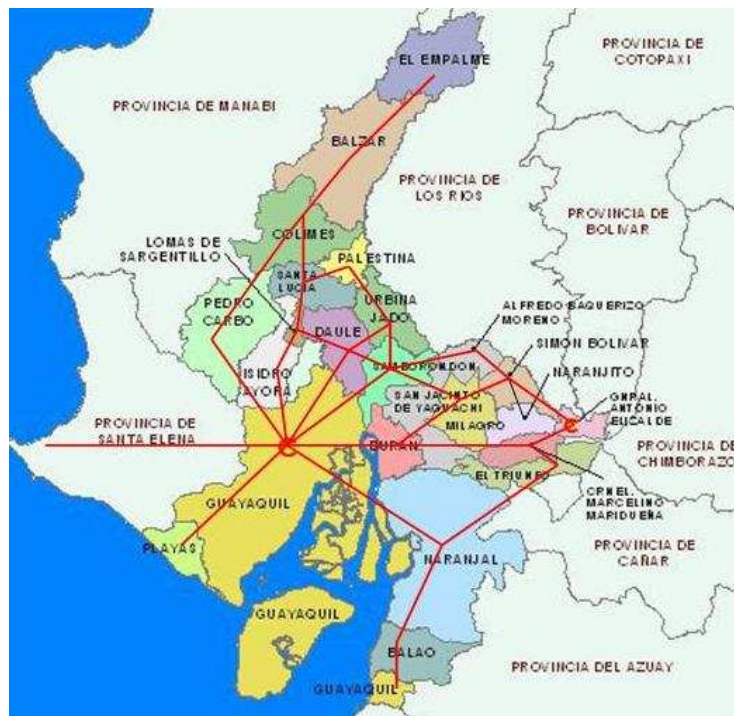
**Figura 3.3** Red nacional de fibra óptica.



**Figura 3.4** Ruta de acceso internacional, con cable submarino (Estación terrena y ciudad principal Guayaquil).

➤ **Red regional.**

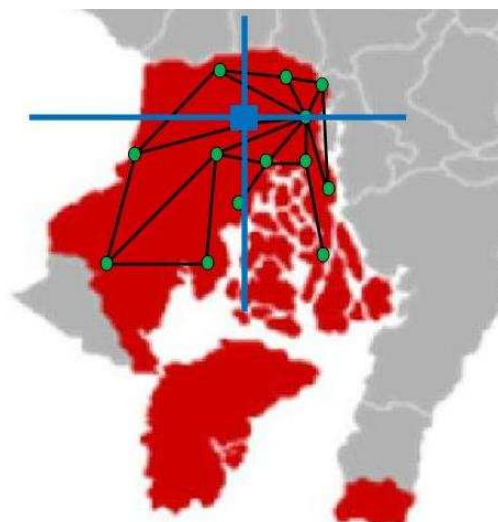
La red regional conecta una comunidad entera con otra o una región determinada, conectándose interregionalmente con otras comunidades a su vez. La red regional siempre se encuentra conectada a la red nacional. Puede decirse que en nuestro país la conexión de una región regional, puede ser, por ejemplo: los cantones que conforman una provincia del Ecuador. Un esquema que demuestra lo anterior se observa en la Figura 3.5



**Figura 3.5** Red regional de fibra óptica

➤ **Red municipal**

La red municipal conecta redes entre sí procedentes de diferentes comunidades que conforman la región. Estas redes se conectan a escala superior con las redes regionales y a escala inferior con las locales o urbanas e incluso directamente con redes de acceso. Estas conexiones se realizan a través de un nodo principal de la comunidad, lo que se representa en la Figura 3.6

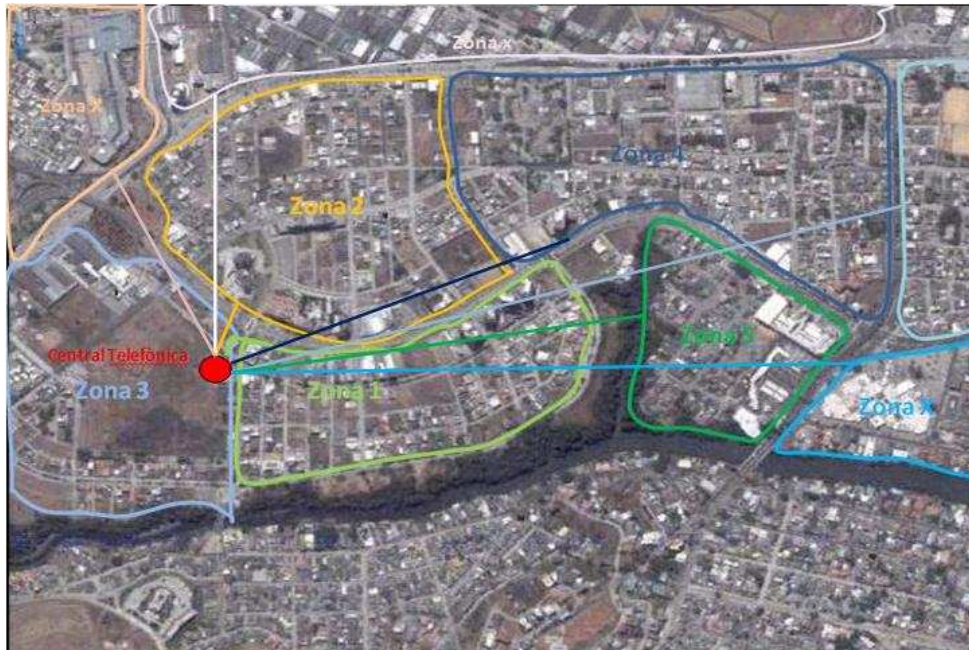


**Figura 3.6** Red municipal de fibra óptica

➤ **Red local urbana**

Una red local o urbana consiste en una red que se extiende a lo largo de una ciudad o áreas con elevado grado de población suficientemente separadas como para no poder ser integradas dentro de una red municipal. Con esta estructura es muy sencillo establecer soluciones de bajo costo para construir redes de acceso hasta los usuarios. Estas redes están directamente conectadas a un nodo principal, capaz de dirigir el tráfico a la red municipal inmediatamente al nivel superior. En la figura 3.7 se puede observar al distrito escogido (Kennedy Norte) [6] como plan piloto, se puede observar la central telefónica y las diferentes zonas en que se dividió el distrito. Se usarán estas zonas más adelante en el desarrollo del documento.





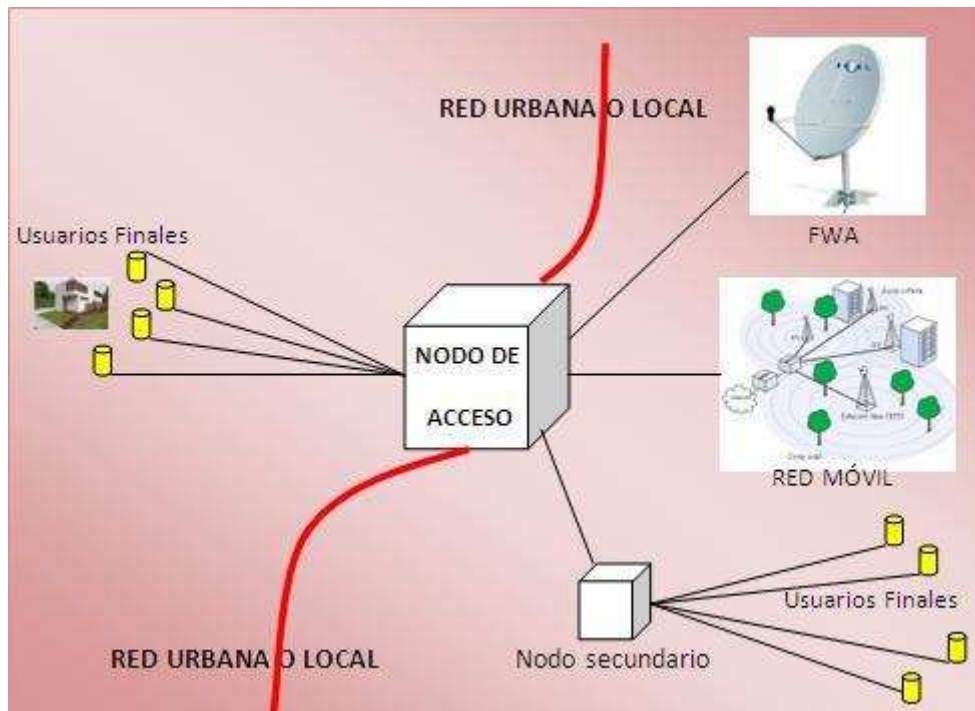
**Figura 3.7** Red local o urbana de fibra óptica

➤ **Red de acceso**

Son aquellas que hacen referencia a la infraestructura de comunicaciones existente entre el punto de conexión de la terminal del usuario y que además incluye el primer equipo activo que procesa la información hasta el nivel de la red. Permite conectar a uno o varios usuarios finales a un nodo de acceso, ya sea secundario o primario. En esta red se incluyen todos aquellos usuarios privados, que demandan servicios en hogares, pisos, oficinas, hospitales, administraciones públicas, etc.

Estas redes son compatibles a nivel de servicio con otros sistemas que también llegan hasta los hogares y que forman parte de las redes de acceso, tales como accesos xDSL, inalámbrico, fijo o WLAN (Wireless LAN) y estaciones base para telefonía móvil. También han de prestar servicios a otros sistemas no menos importantes en los hogares, empresas y otros como son el equipamiento de seguridad, alarmas de incendio, sistemas de video vigilancia, etc.

El poder de ésta red se convierte en el principal camino de transmisión para un sinnúmero de servicios que se deseen implementar. La Figura 3.8 ilustra lo indicado.



**Figura 3.8** Red de acceso de fibra óptica.

El propietario de las redes de acceso es muy dispar. Así pues, y por regla general, el despliegue corre a cargo de las operadoras de cable, aunque actualmente son muchas las empresas que invierten en este tipo de infraestructura, actuando a modo de operadores neutros que no tienen redes hasta los clientes, sino que alquilan la infraestructura a otras empresas de telecomunicaciones. En el caso de las redes de acceso de fibra, la propuesta realizada es de empresa con red propia de FTTH que llega hasta los hogares y edificios (FTTB) junto con sus oficinas (FTTO).

Los demandantes de servicios finales pueden ser bloques de viviendas, patios, áreas industriales, escuelas, hospitales, oficinas, etc. En las redes FTTH la red de acceso queda definida como la conexión existente entre el nodo cercano a la vivienda u hogar del cliente hasta el primer elemento activo instalado en el cliente. Cabe indicar que a partir de éste equipo se puede instalar una red de cobre conocida como cableado estructurado para repartir el servicio.

Esta es la única parte de la infraestructura de fibra donde no existen requerimientos de redundancia y la red de fibra suele conectarse en topología de estrella desde el nodo de la central telefónica hasta el usuario final. La distancia entre el usuario final y nodo de acceso puede variar dependiendo del área de estudio entre 10 m y 100 km como máximo, aunque la mayoría de las redes de acceso FTTH se encuentran entre 300 m y 2000 m.

Para poder combinar estas distancias con una capacidad de servicio del orden de 1 Gbps, se requiere la utilización de fibra óptica monomodo. Actualmente las fibras multimodo son utilizadas en despliegues FTTH, pero para enlaces cortos, inferiores a 500 m entre el nodo de la central y el abonado final. La fibra óptica monomodo aporta mayor desempeño desde el punto de vista de las características de transmisión (atenuación, dispersión, etc.).

### **3.2.2 Elección de los elementos de red FTTH**

Para poder optimizar el rendimiento de la red FTTH se han de escoger los elementos de red más apropiados en cada caso. Para ello existe una serie de recomendaciones que indica los elementos más apropiados para cualquier tipo de red FTTH.

#### **3.2.2.1 Diseño de una red o enlace FTTH**

Para el dimensionamiento de una red FTTH o enlace, se necesitan establecer y concretar los siguientes parámetros:

- ❖ Distancia máxima de transmisión
- ❖ Balance de atenuación óptica para el sistema
- ❖ Tipo de fibra
- ❖ Atenuación por conectores
- ❖ Atenuación por unión o empalme
- ❖ Reflexión (hacia atrás) máxima
- ❖ Tipo de conectores
- ❖ Margen de envejecimiento o período de vida mecánica

Algunos sistemas también necesitan especificar:

- ❖ Distancia de enlace mínima permitida
- ❖ Atenuación óptica permitida

### **3.3 Cálculo del balance óptico de una red FTTH**

Una vez escogidos todos los elementos que intervienen en una red FTTH, tanto pasivos como activos, es necesario calcular el balance óptico del sistema. Este balance aportará información sobre las pérdidas máximas de la red, y por lo tanto incidirá directamente en la capacidad de transmisión del sistema o en la distancia máxima de cada enlace, dado que ambos parámetros son inversamente proporcionales entre sí.

Dadas las restricciones actuales que existen en los núcleos residuales en cuanto a infraestructura óptica se refiere, el parámetro mayormente limitante es la longitud máxima del enlace, o lo que es lo mismo, la longitud máxima de la fibra entre el nodo de acceso y el punto concentrador de fibra del edificio, o en su defecto hasta cada abonado.

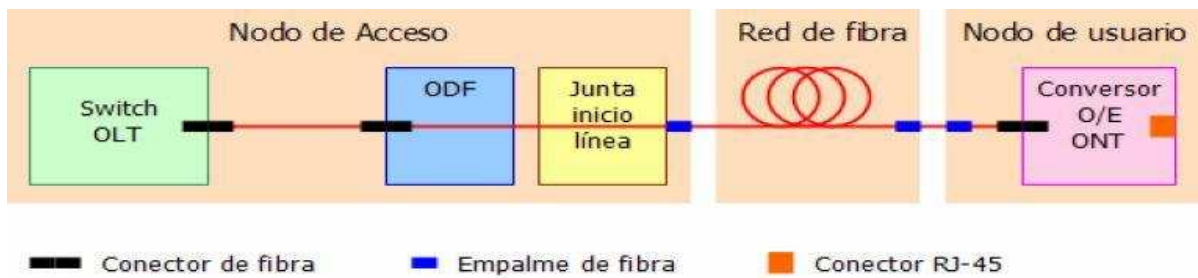
Existe una fórmula general para el cálculo de la **longitud máxima de la fibra** en los términos anteriores que viene dada por la expresión lineal de la ecuación [3-1].

$$L_{\max} = \frac{P_{op} - a.C_a - b.S_a - n}{F_a} \quad [3-1]$$

Donde:

- $L_{\max}$  es la longitud máxima de la fibra en Km.
- $P_{op}$  es el margen de potencia máxima para el sistema opto-eléctrico en dB, calculado a partir de la diferencia entre la potencia óptica del transmisor y la sensibilidad del receptor.
- $a$  es el número de conductores de empalme (dos conectores corresponden a una unión).
- $C_a$  es la atenuación media de conector en dB/conector.
- $b$  es el número de empalmes de fibra.
- $S_a$  es la atenuación media de empalme de fibra en dB/empalme.
- $n$  es el margen de envejecimiento, radio de encendido-apagado, cambios de temperatura y otros parámetros que inciden en la atenuación de la señal.
- $F_a$  es la atenuación de la fibra en dB/km.

La Fig. 3.9 muestra una imagen que ejemplifica un caso cualesquiera y básico de un cálculo de la longitud máxima de fibra. Se trata de un enlace de fibra óptica monomodo con tres secciones de transmisión y con un margen óptico de pérdida de 7.5 dB.



**Figura 3.9** Ejemplo de red óptica típica.

En la misma Figura 3.9 se muestra un enlace directo entre el nodo de acceso de la central y el abonado final, a lo largo del cual se producen empalmes y conectorizaciones de fibra. Concretamente, se puede observar tres conectores de fibra. En particular, se pueden observar tres conectores de fibra ( $a=3$ ) y tres empalmes de fibra ( $b=3$ ). En un enlace óptico de tres etapas y con una longitud de onda de 1550 nm que atraviesa la fibra óptica monomodo, el parámetro  $F_a$  tiene un valor típico de 0.22 dB/km.

Tomando como datos genéricos el valor medio de atenuación de los conectores, en el peor de los casos en 0,5 dB por conector ( $C_a = 0.5$  dB/conector), el valor final de la atenuación introducida por los conectores a lo largo de la red es  $a.C_a \rightarrow 3 \times 0,5 = 1,5$  dB. Por otra parte, se puede tomar como valor genérico el valor medio de atenuación por empalme de fibra como 0,3 dB por empalme ( $S_a = 0.3$  dB/empalme), por lo que el total de atenuación introducida por las uniones entre fibras es:  $b.S_a \rightarrow 3 \times 0.3 = 0.9$  dB.

Por último, es necesario dimensionar el parámetro de margen de envejecimiento y variaciones de temperatura, cuyo valor analítico es de 1.5 dB (aunque este valor es en muchas ocasiones arbitrario), luego  $n = 1.5$  dB. Teniendo en cuenta que el margen de potencia óptica máxima de transmisión es de 7.5 dB, y conociendo las atenuaciones parciales introducidas por los empalmes de fibra, los conectores y el margen de envejecimiento, se puede calcular la longitud máxima del enlace.

La distancia máxima de la fibra óptica entre el OLT y el ONT vendría dada por la ecuación (3-1), que sustituyendo los valores anteriores queda dada por la ecuación (3-2).

$$L_{\max} = \frac{7.5[\text{dB}] - 3 \times 0.5[\text{dB / conect}] - 3 \times 0.3[\text{db / empalme}] - 1.5[\text{dB}]}{0.22[\text{dB / Km}]} \quad [3-2]$$



La expresión da un resultado final para la longitud máxima de la fibra:  $L_{\max} = 16,36$  Km, por lo que en unidades enteras y comprendiendo que ésta deberá ser la máxima longitud, se ha de escoger únicamente el redondeo de la cantidad. Por lo tanto la longitud óptica debe cumplir  $L_{\text{fibra}} \leq 16$  km. En la figura 3.10 se muestra el posible radio de cobertura.



**Figura 3.10** Longitud Máxima. Radio de cobertura 16 Km sin amplificación. Red PON

### 3.4 Descripción del proyecto

Una vez definidos los objetivos generales del despliegue de la red FTTH, es necesario conocer en profundidad el escenario de despliegue, así como las consideraciones generales de diseño previas a la realización del proyecto, que condicionan y limitan algunos aspectos importantes de la red. Entre estos aspectos se han de tomar una medida de referencia de cobertura y un punto de partida para el inicio del diseño del proyecto. Una vez valorados y estudiados estos datos, se procederá a plantear la mejor solución que permitirá establecer una red FTTH en los distritos, zonas y solares seleccionados.

#### 3.4.1 Escenario del despliegue.

Para poder realizar un despliegue de infraestructura óptica de la mejor manera posible, es imprescindible conocer el escenario del despliegue, sus particularidades, destacar las características más importantes, entre otros aspectos. El distrito escogido (Cdla. Kennedy) como objeto de despliegue, se ha dividido en pequeñas áreas que se denominarán zonas, y es donde se ubicará un armario que permitirá

llegar al abonado. Las características generales que se tabularán en cada zona deberán constar de dirección, número de solares, altura de los edificios, números de viviendas y locales comerciales existente en el sector, que hay que considerar para los despliegues de la fibra. Es decir, asignar un hilo de fibra óptica por cada solar.

En el contenido de éste documento se presentarán tres dimensiones posibles en el distrito escogido como plan piloto, específicamente en la ciudadela Kennedy Norte, para su posterior expansión en la ciudad y, eventualmente, al país. Tres medidas específicas a las que se llamarán distancia corta, mediana y larga. Como lo representa la Figura 3.7 mencionada anteriormente en éste capítulo, se tomará la zona 6 como la distancia más larga para el proyecto y se extenderá una fibra desde la central telefónica a un punto alternativo para realizar las demostraciones. La Figura 3.11 ilustra lo antes mencionado.

### 3.4.2. Longitud máxima

En el distrito Kennedy en la zona #6, se ha decidido dividirla en dos áreas (“A1” y “A2”) para asignarles un armario en cada uno de ellas, y desde éstos (armarios) puntos principales se despliegan las redes de fibra óptica a los abonados ubicados en sus respectivos lugares, ya sea de manera subterránea o aérea. En ésta misma figura 3.11 se puede observar el recorrido que se tomará para desplegar el cable principal que sale de la central telefónica a la zona # 6 y la ubicación de los armarios (“A1” y “A2”) en las dos áreas asignadas.



Figura 3.11 Punto más lejano del distrito en la zona # 6

Este solar es el correspondiente a un abonado que desea implementar el sistema de tecnología FTTH. Posee éste solar una vivienda normal. En la figura 3.12 se muestra una imagen en la que se puede observar la red que conecta la casa con la central telefónica y su simbología.



**Figura 3.12** Red de fibra óptica conectada al abonado en zona # 6. En la tabla 3.1 se logra observar la simbología que existen en la figura 3.12

**Tabla 3.1** Simbología de zona # 6

SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN EN EL ZONA #6 EN EL AREA #1
— — — — —	Red del cable primario de FTTH.
- - - - -	Red del cable secundario de FTTH de menor capacidad.
.....	Cable de acometida que llega al abonado con mínimo 2 hilos.
⊘	Armario o concentrador de la red primaria que cubre una área
▲	Derivación (Tap) una FO entre acometida secundaria y acometida.
●	Solar del abonado.

Estos cables de acceso a la red primaria se deslizarán a través de canalización subterránea como norma general, siendo las otras dos redes (secundaria y acometida) extendidas de forma subterránea o aérea, dependiendo de los permisos del municipio. De preferencia las centrales telefónicas tienen que tener su propia canalización que no comparte con otras empresas como por ejemplo las eléctricas.



Aunque los cables de fibra no se ven afectados por los campos electromagnéticos creados por líneas de alta tensión.

El cable principal para la zona # 6 será de una capacidad de 1000 hilos con una longitud de 2.5 Km hasta llegar al armario #1. Se dividirá en dos partes la capacidad del cable primario, para el armario #1 se asignarán 500 fibras y para el armario # 2 se asignarán también 500 fibras. El armario #1 que deberá cubrir el área #1 tiene el total de 401 solares legalmente catastrados, y que se asignará como mínimo un hilo por solar. El resto de hilos quedará de respaldo en cada armario.

Para conocer la longitud total hasta llegar al cliente, se suman los 2.5 Km con la longitud de red secundaria que mide 222 m y la acometida que llega al abonado con una longitud de 53 m. Esto da un total de 2775 Km de longitud. La tabla 3.2 organiza la cantidad de abonados por alcanzar.

**Tabla 3.2** Capacidad de los cables ópticos para la zona # 6

	RED PRIMARIA	ARMARIOS (A1 y A2)	SOLARES REALES #701	RESERVA	RED SECUNDARIA	ACOMETIDA ABONADO
	# hilos	# hilos	# abonados	# hilos	# hilos	# hilos
ZONA#6	1000	-A1= 500 -A2= 500	-a1= 401 -a2= 283	-a1=99 -a2=282	-Cable S1=48	-Cable = 2 -1 Reserva
ZONA #2						

### 3.4.3 Longitud media

En el distrito Kennedy en la zona #2, se ha decidido dividirla en dos áreas (“A1” y “A2”) para asignarles un armario en cada una de ellas, y desde éstos (armarios) puntos principales se desplieguen las redes de fibra óptica a los abonados ubicados en sus respectivos lugares, ya sea de manera subterránea o aérea.

En ésta misma figura 3.13 se puede observar el recorrido que se tomará para desplegar el cable principal que sale de la central telefónica a la zona # 2 y la ubicación de los armarios (“A1” y “A2”) en las dos áreas asignadas.



**Figura 3.13** Punto más lejano del distrito en la zona # 2







En este solar correspondiente al Hotel Colón se desea implementar el sistema de tecnología FTTH. Este solar tiene un hotel construido y se le puede asignar varios hilos de fibra óptica para repartir servicio a sus clientes. En la imagen de la figura 3.14 se puede observar la red conectada desde el hotel con la central telefónica y su simbología.



**Figura 3.14** Red de fibra óptica conectada al abonado en zona#2.

En la tabla 3.3 se logra observar la simbología que existen en la figura 3.14

**Tabla 3.3** Simbología de zona # 2

SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN EN EL ZONA #2 EN EL AREA #1
	Red del cable primario de FTTH
	Red del cable secundario de FTTH de menor capacidad.
	Cable de acometida que llega al abonado con mínimo 2 hilos.
	Armario o concentrador de la red primaria que cubre un área.
	Derivación (Tap), una FO entre acometida secundaria y acometida.
	Solar del abonado (Hotel Colón de 5 estrellas).

Estos cables de acceso a la red primaria se deslizarán a través de canalización subterránea como norma general, siendo las otras dos redes (secundaria y acometida) tendidas de forma subterránea o aérea, dependiendo de los permisos del municipio. De preferencia las centrales telefónicas tienen que tener su propia canalización que no comparte con otras empresas como por ejemplo las eléctricas. Aunque los cables de fibra no se ven afectados por los campos electromagnéticos creados por líneas de alta tensión.

El cable principal para la zona de interés (zona # 2) será de una capacidad de 800 hilos con una longitud de 931 m hasta llegar al armario #2. La capacidad del cable primario se dividirá en dos partes, para el armario #1 se asignarán 400 fibras y para el armario # 2 se asignarán también 400 fibras. El armario #1 que deberá cubrir el área #1 tiene el total de 201 solares legalmente catastrados, y que se asignarán como mínimo un hilo por solar. El resto de hilos quedará de respaldo en cada armario. Cabe indicar que para el caso de edificios éste número de fibras puede variar. En el caso de edificios se menciona la distribución de fibra óptica más adelante en el subtítulo “*Diseño de redes verticales*” (3.4.4)

Para conocer la longitud total hasta llegar al cliente (Hotel Colón), se suman los 931m con la longitud de red secundaria que mide 374 m y la acometida que llega al abonado con una longitud de 153 m. Esto da un gran total de 1458 m de longitud. La tabla 3.4 organiza la cantidad de abonados por alcanzar.

**Tabla 3.4** Capacidad de los cables ópticos con zona#6 y zona#2

	RED PRIMARIA A	ARMARIOS (A1 y A2)	SOLARES REALES #701	RESERVA A	RED SECUNDARIA A	ACOMETIDA ABONADO
	# hilos	# hilos	# abonados	# hilos	# hilos	# hilos
ZONA#6	1000	-A1= 500 -A2= 500	-a1= 401 -a2= 283	-a1=99 -a2=282	-Cable S1=48	-Cable = 2 -1 Reserva
ZONA #2	800	-A1=400 -A2=400	-a1=200 -a2=308	-a1=200 -a2=118	-Cable S1=48	-Cable = 2 -1 Reserva

#### 3.4.4 Diseño de redes verticales.

La última etapa del diseño de la red de acceso, corresponde a los tendidos verticales de fibra desde el R.I.T.I hasta las viviendas. A la hora de realizar el diseño de esta etapa, es necesario tener en cuenta dos consideraciones de vital importancia:

- El operador (*Ganador del concurso en ofrecer servicios de telecomunicaciones en la ciudadela*) junto con la constructora de la ciudadela, serán responsables del diseño de las cajas de acceso a las viviendas, dado que sin una canalización para alcanzar al cliente, el cable final no podrá llegar a la vivienda y los ONT (*elementos activos*) no podrán ser instalados en el hogar.
- La dimensión del cable vertical de los edificios ha de realizarse sobre el 100% de los usuarios, independiente de si son o no demandantes de servicio en potencia.

Aunque que el diseño de las redes verticales de los edificios es un proceso muy particular en el solar que demandaría un estudio particular, es posible elaborar un procedimiento de diseño a seguir como guía general para cada uno de los desplazamientos implicados. El procedimiento general de diseño que suele contemplarse en este tipo de proyectos, consiste en extender cables desde el R.I.T.I hasta las viviendas u oficinas, subiendo a través de la canalización ICT o canalización “riser” (si la hubiera).

La tecnología del cable Riser FTTH de TELNET Redes Inteligentes, está basada en una nueva generación de materiales pensados para la fácil manipulación en campo. Este tipo de canalización, cuenta con rampas o accesos en cada piso del edificio, generalmente situadas en las escaleras de acceso a las viviendas o



edificios. En dichos accesos se realiza la instalación de unas cajas denominadas cajas de derivación por planta, que permiten realizar el sangrado de cable vertical. Este tendido se denomina tendido primario.

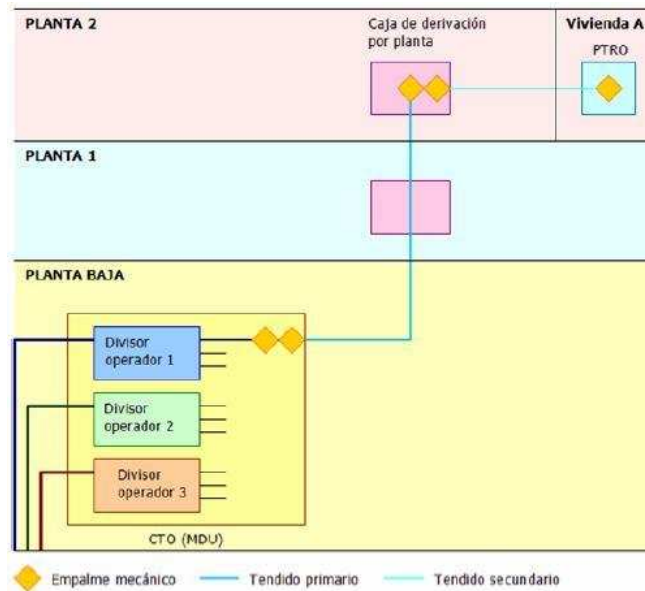
El sangrado del cable por caja de derivación, consiste en cortar aquellas fibras dedicadas a los usuarios de las viviendas existentes en dicha planta. Si el usuario decide darse de alta en el servicio, es necesario realizar dos operaciones:

- Instalar el ONT correspondiente, en unas cajas denominadas PTRO, o punto terminal de red óptico.
- Tender un cable de fibra óptica monofibra entre la caja de derivación por piso, y el PTRO de la vivienda que será el que le permita disfrutar de los servicios contratados. Este cable se denomina tendido secundario.
- Realizar un empalme mecánico entre el cable dedicado a dicho edificio, ubicado en la caja de derivación, y el nuevo cable de tendido secundario, es decir, la fibra de acceso a la vivienda.
- Realizar un empalme mecánico entre el cable de acceso a la vivienda, y el PTRO de la vivienda.

Además de estos dos empalmes, es necesario realizar un empalme en la CTO (caja terminal óptica) del R.I.T.I. o MDU en este caso, entre la fibra del cable *riser* de la vivienda que demanda el servicio, y la salida del divisor de segunda etapa correspondiente al operador que prestará el servicio. Por ejemplo, para los usuario de un solar (Hotel Colón) tiene muchos clientes ya que el edificio tiene 10 pisos con 14 departamentos, es necesario utilizar divisores ópticos (1:2-1:4-1:8-1:16-1:48-etc), realizando empalmes y otros procesos, tal como lo ilustra la figura 3.15

En estos diseños se reserva un hilo de fibra para cada vivienda particular, de tal forma que suben por la vertical, al menos, tantas fibras como viviendas existan para garantizar el servicio a cualquier usuario del edificio.





**Figura 3.15** Diseño de tendido vertical

### 3.4.5 Longitud pequeña

En el distrito Kennedy en la zona #1, se ha decidido dividirla en dos áreas (“A1” y “A2”) para asignarles un armario en cada una de ellas, y desde éstos (armarios) puntos principales se despliegan las redes de fibra óptica a los abonados ubicados en sus respectivos lugares, ya sea de manera subterránea o aérea. En ésta misma figura 3.16 se puede observar el recorrido que se tomará para desplegar el cable principal que sale de la central telefónica a la zona # 1 y la ubicación de los armarios (“A1” y “A2”) en las dos áreas asignadas.



**Figura 3.16** Punto más cercano del distrito en la zona # 1

Este solar es el correspondiente a un abonado que desea implementar el sistema de tecnología FTTH. Posee éste solar una vivienda normal. En la figura 3.17 se muestra una imagen en la que se puede observar la red que conecta la casa con la central telefónica y su simbología.



**Figura 3.17** Red de fibra óptica conectada al abonado en zona#1, área #1.

En la tabla 3.5 se logra observar la simbología que existen en la figura 3.17

**Tabla 3.5** Simbología de zona # 1

SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN EN EL ZONA #2 EN EL AREA #1
— — — — —	Red del cable primario de FTTH.
- - - - -	Red del cable secundario de FTTH de menor capacidad.
.....	Cable de acometida que llega al abonado con mínimo 2 hilos.
⊘	Armario o concentrador de la red primaria que cubre un área.
▲	Derivación (Tap), une FO entre acometida secundaria y acometida.
⊖	Solar del abonado (Zona#1, Armario#1).

Estos cables de acceso a la red primaria se deslizarán a través de canalización subterránea como norma general, siendo las otras dos redes (secundaria y acometida) extendidas de forma subterránea o aérea, dependiendo de los permisos del municipio. De preferencia las centrales telefónicas tienen que tener su propia canalización que no comparte con otras empresas, es común observar que por falta de obras civiles con nuevas tuberías, los técnicos utilicen las tuberías de otras empresas (como las eléctricas) para pasar cables de datos.

El cable principal para la zona # 1 será de una capacidad de 500 hilos con una longitud de 982 m hasta llegar al armario #1. Se dividirá en dos partes la capacidad del cable primario, para el armario #1 se asignarán 200 fibras con una longitud de 348m y para el armario # 2 se asignarán también 300 fibras con una longitud de 982m. El armario #1 que deberá cubrir el área #1 que tiene el total de 150 solares legalmente catastrados, y que se asignará como mínimo un hilo por solar. El resto de hilos quedará de respaldo en cada armario.

El armario #2 que deberá cubrir el área #2 que tiene el total de 250 solares legalmente catastrados, y donde se asignará como mínimo un hilo por solar. El resto de hilos quedará de respaldo en cada armario. Cabe indicar que para el caso de edificios éste número de fibras puede variar. En el caso de edificios se menciona la distribución de fibra óptica en el subtítulo “*Diseño de redes verticales*” (3.4.4). Para conocer la longitud total hasta llegar al cliente, se suman los 931m con la longitud de red secundaria que mide 82 m y la acometida que llega al abonado con una longitud de 16 m. Esto da un gran total de 1029 Km de longitud. La tabla 3.6 organiza la cantidad de abonados por alcanzar.

**Tabla 3.6** Capacidad de los cables ópticos con zona#6, zona#2 y zona#1

	ABONADOS o SOLARES # Terrenos	RED PRIMARIA # hilos	ARMARIOS (A1 y A2) # hilos	SOLARES REALES #701 # abonados	RESERVA # hilos	RED SECUNDARIA # hilos	ACOMETIDA ABONADO # hilos
ZONA #6	684	1000	-A1=500 -A2=500	-a1=401 -a2=283	-a1=99 -a2=282	-Cable S1=48	-Cable =2 -1 Reserva
ZONA #2	508	800	-A1=400 -A2=400	-a1=200 -a2=308	-a1=200 -a2=118	-Cable S1=48	-Cable =2 -1 Reserva
ZONA #1	400		-A1=200 -A2=300	-a1=150 -a1=250	-a1=50 -a2=50	-Cable S1=48	-Cable =2 -1 Reserva

### **3.5 Estudio sociocultural estadístico**

Es necesaria la realización de un estudio estadístico que aporte datos reales sobre el índice de penetración de servicios a los usuarios finales. De esta manera, se puede conocer el número de usuarios que demandará servicios FTTH en un futuro próximo, y que decidirá en una parte el diseño de la red. Actualmente los servicios de Telecomunicaciones se ofrecen por varias empresas operadores de telecomunicaciones, es decir que un cliente podría llegar a tener tres o cuatro acometidas de acuerdo a los servicios que tenga, y un cable por cada empresa. Los estudios realizados respecto a esto se los puede revisar en la sección Anexo 6.

### **3.6. Especificaciones técnicas de los equipos activos en la red FTTH**

Toda red, aparte del medio físico de transmisión, requiere la parte de los elementos activos que la conforman, que permiten enviar y recibir la información. En el caso de la fibra óptica, la información es enviada en forma de luz. Los equipos que permiten la conversión de luz a pulsos eléctricos y viceversa se llaman convertidores de medios. De acuerdo al desarrollo de la tecnología puede transmitirse la información a través de dos hilos, o también a través de uno solo, conocido como unifilar.

#### **3.6.1 Convertidor de medios TFC-110S20D3/D5 (Media converter)**

El Convertidor de fibra de modo-sencillo con longitud de onda Dual de TX a 100Base-FX a 10/100Mbps o también conocido como convertidor de medios Single-Fiber (monomodo) en transmisión bidireccional trabaja en conjunto con la serie TFC-110S20D3 o TFC-110S20D5. Son equipos diseñados por la marca TRENDnet. Un medio UTP/STP 10/100Base-TX en un medio 100Base-FX y viceversa. El puerto 10/100Base-TX auto negocia velocidades de conexión de 10 ó 100 Mbps con tipo de medios Auto-MDIX, la fibra es compatible con la conexión tipo SC de modo-sencillo. Este convertidor le ofrece a al Conmutador/Hub la capacidad de interconectarse a conexiones de fibra a una distancia de hasta 20 Km.

#### **➤ Características técnicas.**

- Compatible con los estándares IEEE 802.3 10Base-T y IEEE 802.3u 100Base-TX, 100Base-FX
- Ofrece conmutador Dip-Switch para Fiber(FDX/HDX), UTP (Auto negociación/manual), Speed(10/100M), LLR (Activado/Desactivado), LLCF (Activado/Desactivado)

- Es compatible con LLCF (Link Loss Carry Forward y Link Pass Through)
- Es compatible con LLR (Link Loss Return) para Puerto FX.
- Hot Pluggable e instalable en pared
- Sistema de chasis opcional de 19" (TFC-1600) para hasta 16 convertidores de medios
- Garantía limitada de 5 años

➤ **Las especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 3.7**

**Tabla 3.7 Especificaciones técnicas de TFC-110S20D3/D5 (Media converter)**

<b>HARDWARE</b>				
Estándar	-IEEE 802.3 10Base T - IEEE 802.3u 100Base-TX, 100Base-FX			
Medios de red	-10Base-T: UTP Cat 3,4,5 EIA/TIA-568 100 ohmios STP -100Base-TX: UTP Cat. 5, EIA/TIA-568 100 ohmios STP -100Base-FX: Cable de fibra óptica modo-sencillo de 9/125µm, de 20Km			
Protocolo	-CSMA/CD			
Puertos	-1 puerto RJ-45 10/100Base-Tx -1 Conector SC con puerto bi-direccional para fibra óptica sencilla 100Base-FX			
Dip switch	-TX: Modo dúplex, auto-negociación o manual, Speed, LLCF(activado/desactivado) -FX: Modo dúplex, LLR (activado/desactivado) LLCF			
Velocidad de transferencia	-10Base-T: 100Base-TX(Half/Full Dúplex) -a 10Mbps/20Mbps: 100Mbps/200Mbps (Half/Full Dúplex)			
LED de diagnóstico	-Por unidad: Potencia -por puerto: Enlace/Actividad, FDX/HDX, Falla de conexión (Link Fail), Velocidad (Speed) (sólo para puerto TX)			
Adaptador de alimentación	-Adaptador de alimentación eléctrica externo 1,5A y 7,5V DC			
Consumo eléctrico	-7,2 vatios (máx)			
Dimensiones	-120x88x25mm (4,7x3,46x0,98 pulgadas)			
Peso	-354g (12,5 onzas)			
Temperatura	-Operación: 0° - 40° C - Almacenamiento: 25° -70° C			
Humedad	-5%-90% RH			
Emisiones de seguridad Emissions	-FCC,CE			
Modelo	Longitud de onda	Salida de energía	Sensibilidad	Potencia
TFC-110S20D3	TX:1310nm;Rx1550nm	-15dBm	-32dB	17dBm
TFC-110S20D5	TX:1550nm;Rx1310nm	-18dBm	-32dB	14dBm
Productos Relacionados				

TFC-110S20D3/D5	Convertor de fibra de modo-sencillo con longitud de onda Dual de TX a 100Base-Fx a 10/100Mbps
TFC-110S20D3/D5	Convertor de fibra de modo-sencillo de 1000Base-T a 1000Base-LX (10Km) con conector tipo-SC

### 3.6.2 Datos de los tres ejemplos de red FTTH

Cada cliente tiene un canal específico para su transmisión, es por eso que se usarán las tres medidas de modelos anteriormente mencionados en la propuesta. Se debe recordar que se tomaron longitudes dentro del Distrito, tres zonas, una longitud larga, otra longitud media y una longitud pequeña. Según éstos datos que proporciona cada enlace se genera una tabla específica. En la Figura 3.18 se muestran los equipos activos.

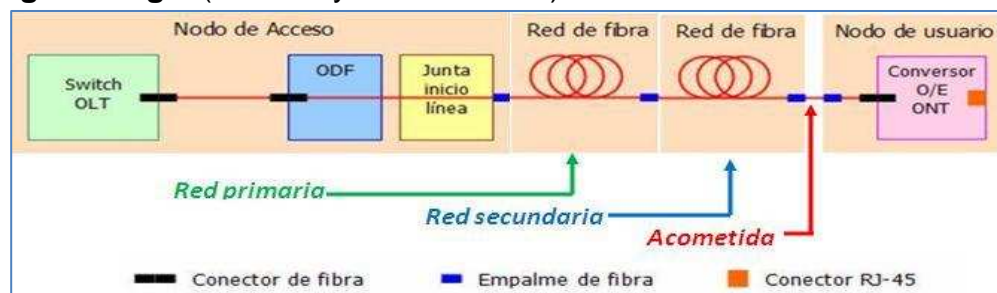


**Figura 3.18** Convertidor de fibra de modo-sencillo de 1000Base-T a 1000Base-LX

### 3.6.3 Datos de los tres ejemplos de red FTTH

Los tres casos a considerar como modelos para el proyecto son: una longitud larga, una mediana y una corta. Las figuras 3.19, 3.20 y 3.21 y las Tablas 3-8 ,3-9 ,3-10 muestran las estructuras de los enlaces con los conectores y empalmes correspondientes, respectivamente.

➤ **Longitud larga** ( Grafica y tabla zona #6)



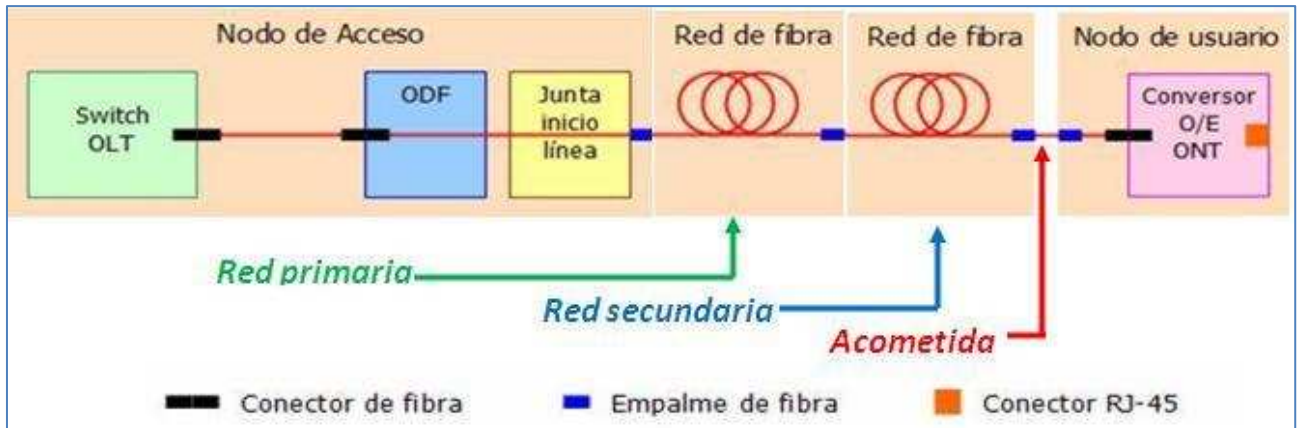
**Fig. 3.19** Longitud larga



**Tabla 3.8** Tabla con empalmes en longitud larga Zona#6

	Conector de fibra	Empalme de fibra	Conector RJ-45
Número de uniones	3	4	1
Longitud máxima	2775Km		

➤ **Longitud media** ( Grafica y tabla zona #2)

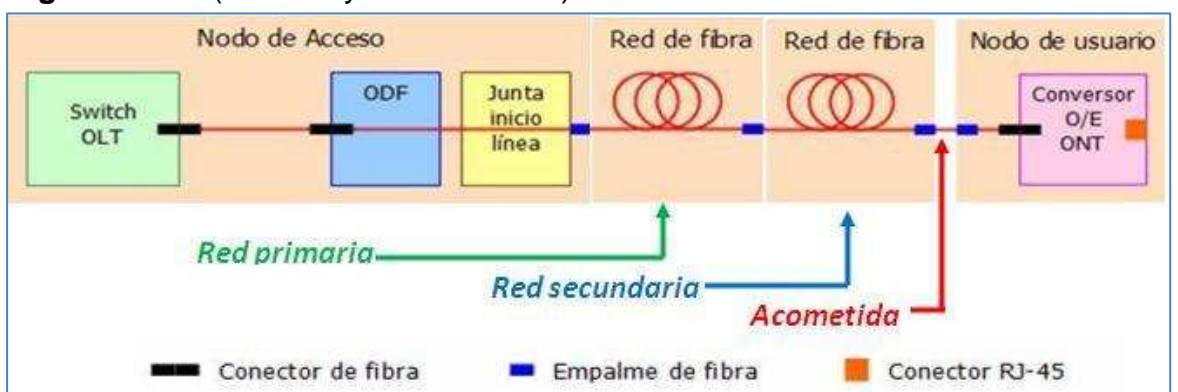


**Fig. 3.20** Longitud media

**Tabla 3.9** Tabla con empalmes en longitud larga Zona #2

	Conector de fibra	Empalme de fibra	Conector RJ-45
Número de uniones	3	4	1
Longitud máxima	1458Km		

➤ **Longitud corta** ( Grafica y tabla zona #1)



**Fig. 3.21** Longitud pequeña

**Tabla 3.10** Tabla con empalmes en longitud larga Zona #1

	Conector de fibra	Empalme de fibra	Conector RJ-45
Número de uniones	3	4	1
Longitud máxima	1029Km		

## CONCLUSIONES

La fibra óptica FTTH es utilizado principalmente en las telecomunicaciones, ya que permite enviar grandes cantidades de información a una mayor velocidad y a distancias muy grandes. Nuevos descubrimientos como son las DWDM permiten enviar otros servicios por la misma fibra óptica.

El proyecto consiste en diseñar y desplegar la infraestructura pasiva de una red FTTH en una zona concreta de Guayaquil compuesta por 3 zonas principales, cada una de ellas totalmente independientes y con un total de 1592 viviendas, aplicando el modelo comercial de un hilo por solar. El diseño debía de estar capacitado para alquilar la red desplegada a 3 operadores finales como mínimo que se encargarán de la infraestructura activa del sistema, o si la empresa estatal puede ofrece los tres servicios básicos conocidos.

La red propuesta considera instalar un solo hilo de fibra a cada usuario desde la central telefónica, calculando el número de empalmes posibles y localizadas las uniones, evitando la realización de empalmes mecánicos y tendidos de fibra, reduciendo las pérdidas ópticas del sistema y aminorando el costo global de las altas de cada usuario.

El diseño considera que solo los elementos activos de la red estarán en la central telefónica y en la casa del cliente, para evitar robos y pérdidas considerables. La fibra óptica es considerada como elemento pasivo. El diseño de tener los elementos activos ubicados en la central y el del cliente en su casa.

Al contar con esta red en tu hogar, experimentarás mayor velocidad al navegar en Internet, disfrutar de otros servicios. Cada vez son más los dispositivos que los integrantes de tu familia conectan a Internet, por ello requieres mayor velocidad. , así como todas las pérdidas existentes en el sistema, tales como divisores o empalmes.

Estos cálculos teóricos, se validaron y certificaron en un simulador óptico para las fibras ópticas que dieron como resulta la formula general expuesta en capitulo tres. Una vez que se realizaron las medidas de reflectometría y potencia de la red, donde



se obtuvieron los datos reales del balance óptico y que al contrastarse con los datos teóricos se verifica la viabilidad de la red.

La última fase del proyecto contempla la planificación e instalación de la red diseñada. Para ello, es necesario tener en cuenta los diferentes procedimientos, recomendaciones y normativas de instalación de redes ópticas, que garantizan un correcto despliegue de la red y minimizan los posibles problemas que puedan aparecer a corto y largo plazo, tanto a nivel físico y lógico de funcionamiento, como a nivel burocrático con administraciones públicas y entidades privadas y propietarias.

El costo final de la instalación implica una inversión inicial por parte del operador (telefónico) que se amortizará a mediano y largo plazo. En muchas ocasiones, los operadores de telefonía son recelosos en invertir en tecnologías de banda ancha sin tener claro un rendimiento económico a corto plazo, por lo que se generan ciertos retrasos en inversiones de última tecnología. Pero el potencialmente posible entregar un buen servicio y poder retener al cliente en la operadora.

Para poder financiar la red es posible invertir con operadores asociados o neutros, la infraestructura de última generación dota a la población de su conjunto de redes integradas con servicios Triple Pack, empresas que han apostado en el proyecto que les permite ser un operador neutro. De esta forma, el operador neutro sufraga la inversión inicial de instalación, que es la mayor del sistema, y se encarga de ofrecer dicha a red a los operadores que finalmente serán los que se encarguen de explotar el servicio a través del equipamiento activo.

La posición del operador neutro como figura en el sistema tiene dos finalidades claramente diferenciadas: evitar la inversión inicial de despliegue por parte de los operadores, y subsistir como propietario de la red mediante el arrendamiento de la misma a los operadores que prestan el servicio final a los usuarios. Este hecho, de red a precios más competitivos

Además, con el modelo de operador neutro se puede reaprovechar la red para diferentes operadores, de tal forma que no es necesario que tengan que instalar su propia infraestructura de red, saturando la infraestructura general de red y la propia

de cada edificio de viviendas. Con una sola instalación en R.I.T.I. y en canalización vertical se permite el acceso a varios operadores finales. En este caso, se permite la inclusión de hasta 3 operadores distintos, por lo que gracias a este diseño la infraestructura ocupa un 66% menos. No obstante, la red se encuentra dimensionada para ofrecer servicio hasta 3 operadores más, lo que supone un total de hasta 6 operadores diferentes en servicio, y lo que supone un ahorro de espacio e infraestructura de hasta 6 veces menos, en el caso de que cada operador desplegara su propia red.

En relación con lo anterior, la inclusión de un nuevo tipo de diseño basado en sistemas directos desde el R.I.T.I. hasta el ONT la vivienda, evitan la inclusión de pérdidas por empalme en este tramo, mejorando la calidad del servicio, facilitando la instalación en el despliegue y en el alta de usuario, e incluso permitiendo la reducción de la potencia óptica a transmitir por parte del equipamiento activo OLT. Se reducen los costos de mantenimiento de equipos activos ubicados en la calle que son muy costosos y se evita su sustracción.

Por otra parte, el hecho de apostar por el diseño e instalación de una red FTTH viene determinado por la necesidad de ofrecer servicios de televisión, telefonía digital e Internet de ultra-banda ancha a precios competitivos. Cada día son más los usuarios que demandan los servicios anteriores -y muchos más derivados de los mismos-, de tal forma que los operadores se ven incapaces de ofrecerlos con la tecnología desplegada actualmente. Servicios bajo transmisión IP.

Soluciones como la ADSL2+ y otras similares, que ya alcanzan importantes velocidades de transmisión se quedan cortas ante servicios tales como la videoconferencia de alta calidad, la televisión de alta definición personal, los videojuegos on-line, etc. Estas soluciones evitan modificar el bucle al abonado, lo que se convierten en respuestas más económicas para el usuario final. Sin embargo, las redes ópticas FTTH apuestan por mejorar el bucle al abonado, aumentando la tasa de transmisión de bits, y mejorando la seguridad, el rendimiento y el mantenimiento, a precios más económicos.

La utilización de materiales específicos para redes FTTH, así como la elección de

todos y cada uno de los elementos pasivos del sistema se ha realizado de forma minuciosa para conseguir la mejor relación calidad-precio del sistema, innovando a nivel de diseño y adecuando la red a una comercialización más accesible para la sociedad. Cada año las empresas aumentan las velocidades de internet al cliente en la competencia del mercado, provocando saturación en las redes que no tienen la capacidad de crecimiento como lo ofrece la FTTH.

Con este proyecto, se ha demostrado que el avance tecnológico en materia de redes no ha de estar reñido con el costo que supone su propio diseño e instalación. Prueba de ello es el actual proyecto, en el que el despliegue de 3 zonas en un distrito con más de 1592 usuarios potenciales de servicio.

La implementación de redes de nueva generación sobre redes FTTH son cada vez mayores en nuestro país, y la aparición de empresas como modelo de operador neutro suponen una importante solución a la evolución de las mismas. Cada vez son más las empresas que apuntan económicamente a una red de mayor expansión para sus servicios y mejor calidad a sus clientes.

## BIBLIOGRAFÍA

- ADC Krone Soluciones ópticas.(2008) " *Guía de conectores y elementos de panel óptico*. ADC Krone en World Wide Web: [www.adckrone.com](http://www.adckrone.com), 2008.
- Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones.(2007) " *Redes FTTH*". En Principios y líneas maestras de la Futura Regulación de las Redes de Acceso de Nueva Generación NGA. Normativa MTZ 2007/358. Barcelona, 2007.
- Campany José. (1999) *Dispositivos de comunicaciones ópticas*. Síntesis, Madrid, 1999.
- Comisión Sueca de Tecnología de la Información.(2001) "Report 37/2001". En *FTTH structure*. Estocolmo, 2001.
- Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones.(2010) *Procedimiento para la definición y análisis del mercado de acceso al por mayor a infraestructura de red*. Normativa ISCMTE- 091856-1IL Isdefe 2009/02, Barcelona, 2010.
- Carmona A.y S. Villanueva. (2008) " *Estudio sociocultural estadístico sobre el sistema, FTTH*" de Vicálvaro. Random, Madrid, 2008.
- Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones. (2008)" *Procedimiento para la definición y análisis del mercado de acceso al por mayor a infraestructura de red*. Normativa MTZ 2008/626. Barcelona, 2008.
- Ciencia al Día. (2007) " *Diodos LED*" Imagen disponible en World Wide Web: [www.cienciaaldia.files.wordpress.com](http://www.cienciaaldia.files.wordpress.com). 2007.
- DRAKA Cables y sistemas. (2008)" *Guía de referencia de elementos ópticos pasivos, cables y fibras ópticas*. Disponible en World Wide Web: [www.draka.com](http://www.draka.com), 2008.
- Equipo de Telecommunity.(2008)" *Redes de fibra hasta el hogar: una realidad*". En Revista Telecommunity 1, nº 75, Madrid, 2008.
- España Boquera M<sup>a</sup> Carmen (1996.). *Comunicaciones Ópticas: conceptos esenciales y resolución de ejercicios*, Díaz de Santos, Madrid,
- Fendt W. y J. Muñoz. (2004)" *Índices de refracción de ciertos materiales*". En Fenómenos físicos de la luz. Artículo de la Universidad Politécnica de Madrid, 2004.

Grupo Neva. (2007) "*Instalación ICT telecomunicaciones*". Imagen disponible en Wordl Wide Web: [www.gruponeva.es](http://www.gruponeva.es). 2007.

Goralski Walter (2000.) "*Introducción a la tecnología ADSL*". En Tecnologías ADSL y xDSL. McGraw Hill/Interamericana de España, Madrid,

Hecht . Jeff (2002) *Understanding fiber optics*, Prentice Hall, 4ª ed, 2002.

Hockham G.A. y K.C.Kao Artículo (1996) "*Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies*" En Proceedings IEE 113 pp 1151-1158, Julio de 1966.

Huygens Christian. (1690) *Traité de la Lumière*. Hardcover, 1690.

Huidobro Moya José Manuel y David Roldán Martínez.(2004.) "*Redes HFC y ATV*".En Redes y servicios de banda ancha. McGraw Hill/Interamericana de España,Madrid,

Internacional Telecommunication Union. (1998)" *Características de un cable de fibra óptica multimodo de índice gradual de 50/125 mm*. Recomendación UIT-T G.651 (02/1998).

Internacional Telecommunication Union.(2003)." *Características de las fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada*. Recomendación UIT-T G.653. (12/2003).

Internacional Telecommunication Union.(2004)." *Características de las fibras y cables ópticos monomodo de pérdida minimizada*. Recomendación UIT-T G.654 (06/2004).

Internacional Telecommunication Union.(2006). "*Características de las fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula*. Recomendación UIT-T G.655 (03/2006).

Internacional Telecommunication Union. (2006)"*Características de las fibras y cables ópticos monomodo con dispersión no nula para transporte óptico de banda ancha*.Recomendación UIT-T G.656 (12/2006).

Internacional Telecommunication Union. (2006)"*Características de las fibras y cables ópticos monomodo insensibles a la pérdida por flexión para la red de acceso*. Recomendación UIT-T G.657 (12/2006).

- International Electrotechnical Commission. (2006) " *Product specifications – Sectional specification for class B singlemode fibres*. Estándar IEC 60793-2-50 (05/2008).
- International Organization for Standardization. (2006) " *Information technology — Generic cabling for customer premises*. Estándar ISO/IEC 11801 (03/2006).
- International Organization for Standardization. (2006) " *Information technology — Generic cabling for industrial premises*. Estándar ISO/IEC 24702 (03/2006).
- International Telecommunication Union. (2005) " *Requisitos de la red óptica*". En *Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas (PON)*. Recomendación UIT-T G.983.1 (01/2005).
- International Telecommunication Union. (2005) *Especificación de la interfaz de control y gestión de terminales de red óptica para redes ópticas pasivas de banda ancha (BPON)*. Recomendación UIT-T G.983.2 (07/2005).
- International Telecommunication Union. (2005) *Sistema de acceso óptico de banda ancha con capacidad de servicio incrementada mediante la asignación de longitudes de onda*. Recomendación UIT-T G.983.3 (06/2005).
- International Telecommunication Union. (2005) *Características de los cables y fibras ópticas monomodo*. Recomendación UIT-T G.653 (06/2005).
- International Telecommunication Union. (2008) *Redes ópticas pasivas de capacidad Gigabit (GPON): características generales*. Recomendación UIT-T G.984.1 (03/2008).
- International Telecommunication Union. (2008) *Redes ópticas pasivas de capacidad Gigabit (GPON): especificación de la capa dependiente de los medios físicos*. Recomendación UIT-T G.984.2 (03/2008).
- International Telecommunication Union. (2008) *Redes ópticas pasivas de capacidad Gigabit GPON): especificación de la capa de convergencia de transmisión*. Recomendación UIT-T G.984.3 (03/2008).
- International Telecommunication Union. (2008) *Redes ópticas pasivas de capacidad Gigabit GPON): especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica*. Recomendación UIT-T G.984.4 (02/2008).
- International Telecommunication Union. *Características de las fibras y cables ópticos monomodo*. Recomendación UIT-T G.652 (06/2005).

- Imagen O348. (2009)“*Cables de distribución óptica*”. En Fibra óptica hoy. Disponible en World Wide Web: <http://www.fibraopticahoy.com>, 2009.
- Internacional Telecommunication Union. (2008) “*Redes ópticas pasivas de capacidad Gigabit (GPON): características generales. Recomendación UIT-T G.984.1 (03/2008)*”.
- Imagen Divisores. OFP3. (2009) *Disponible en World Wide Web: www.ofp3.com*, 2009.
- Internacional Telecommunication Union. (2008)” *Redes ópticas pasivas de capacidad Gigabit (GPON): características generales. Recomendación UIT-T G.984.1 (03/2008)*”.
- Janer . Carlos.(2009). *Dispositivos para comunicaciones ópticas*. Dinel, 2009.
- Kramer G. , B. Mukherjee, y G. Pesavento. (2001)“*Ethernet PON (EPON): Design And Analysis of a Optical Access Network*”. En Photon Network. Commun. 3(3),307-319.
- Kramer G.y G. Pesavento, (2002)“*Ethernet over Passive Optical Network (EPON):Building a next- generation Access Network*”. En IEEE communications, vol. 4, nº 1, páginas 89-107, Enero
- Luque Francisco Javier. (2007) “*Innovation in network technologies*”. En Taking you forward conference of Ericsson. Madrid, 2007.
- Molpeceres Criado José Luis. (1998) “*Fundamentos físicos de la tecnología láser*”. En Conferencia sobre láser y sus aplicaciones digitales. Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía.Madrid, 30 de noviembre al 1 de diciembre de 1998.
- Moreno Gloria. (2010) “*Telefónica invertirá un 25% en tecnología FTTH*”. En Lider Digital. World Wide Web: [www.liderdigital.com](http://www.liderdigital.com), Madrid, 2010.
- Martínez Baltasar Rubio. (1994)“*Historia y evolución de la fibra óptica*”. En Introducción a la ingeniería de fibra la óptica. Addison-Wesley Iberoamericana, Buenos Aires, 1994.
- Millán M. S., J. Escofet.(2004) *Óptica geométrica*, Ariel, Barcelona, 2004.
- Mejías P. M. ; R. Martínez Herrero. (199) *Óptica geométrica*, Ed. Síntesis, Madrid,1999.

- Molpeceres Criado José Luis . (1998)“*Fundamentos físicos de la tecnología láser*”. En Conferencia sobre láser y sus aplicaciones digitales. Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía.Madrid, 30 de noviembre al 1 de diciembre de 1998.
- Nilsson-Gistvik S. , P. Lo Curzio y H. Serrander. (2007)“*A guide-line on how to build fiber optic access networks –FTTX networks*”. En *Fibre optic access to End-Users*. BSI, 2007.
- OPTRAL Cables ópticos. (2008) *Referencia de materiales pasivos*. Disponible en World Wide Web: [www.optral.com](http://www.optral.com), 2008.
- Prados Enrique .( 2008) “*Redes FTTH*”. En VII Jornadas Técnicas JDSU España. Madrid,.
- Pfeiffer Thomas (2004) “*FTTH Solutions for providing broadband services to enusers*”. En ITG Workshop Zukunft der Netze. Kaiserslautern,
- Ringofsaturn. (2008) “*MT-Array*”. En Networking. Imagen disponible en World Wide Web: [www.networking.ringofsaturn.com](http://www.networking.ringofsaturn.com) . 2008.
- Rodríguez Suárez . Antonio (2005) *Comunicaciones Ópticas*, Bellisco, 2ª ed. Madrid,2005.
- Sendín Escalona Alberto (2008) . “*Tecnologías xDSL*”. En *Tecnologías de acceso para las ICTs*. Ediciones Experiencia, Barcelona,.
- Sanz José Martín.(1996) *Comunicaciones Ópticas*, Paraninfo, Madrid, 1996.
- Safford Edward L y José Manuel Nobre García.(1994) *Introducción a la fibra óptica y el láser*, Paraninfo, Madrid, 1994.
- Systemax Solutions. (2007)“*Design and Engineering of optical fiber systems*. CommScope, Somerset (England), 2007.
- Tunmann Taking Sanjay Ernest (2002.) *Hybrid fiber opticos/coaxial (HFC) networks*. Artech House Publishers.



- The Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2004) *Ethernet in the First Mile Task Force*. Recomendación IEEE 802.3ah (06/2004).
- Tomasi .Wayne (2003) "*Comunicaciones de fibra óptica*". En comunicaciones electrónicas. Prentice Hall, Madrid, 2003.
- Telecommunications Industry Association, Electronic Industry Alliance.(2000) *Optical Fiber Cabling Components*. Estandar TIA/EIA-598-A (04/2000).
- The Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2004) *1000Base.LX Recomendación IEEE -802.3* (06/2004).
- The Institute of Electrical and Electronics Engineers.(2004) *10Gbase.LX Recomendación IEEE 802.3* (06/2004).
- Telecommunication Industries Association. (2000) "*Specifications for optical waveguide fibers*: TIA/EIA-492 STANDARDS, 2000.

## GLOSARIO DE TERMINOS

ADSL:	línea de abonado digital asimétrica (asymmetric digital subscriber line).
AES:	estándar de encriptación avanzado (advance encryption standard).
APC:	pulido de contacto físico angulado (angled physical contact).
APD:	Los fotodiodos de avalancha (avalanche photodiodes).
APON:	red óptica pasiva ATM (ATM passive optical network).
ATM:	modo de transmisión asíncrono (asynchronous transfer mode).
BER:	tasa de error de bit (bit error ratio).
BIP:	bit de paridad (bit interleaved parity).
BPON:	red óptica pasiva de banda ancha (broadband passive optical network).
CLP:	celda de menor prioridad (cell loss priority).
CPM:	modulación de fase cruzada o CPM (crossed phase modulation).
CRC:	control de redundancia cíclica.
CWDM/DWDM:	multiplexación por longitud de onda corta/densa o larga (coarse wavelength division multiplexing/dense wavelength division multiplexing).
DD:	dirección de destino (destination address).
DFA:	amplificador de fibra dopada (doped fiber amplifier).
DFB:	láser con realimentación distribuida o DFB (distributed feedback).
DGD:	diferencia de dispersión de grupo (differential group delay).
DPD:	fotodiodo digital.
DSF:	fibras ópticas monomodo de dispersión desplazada (dispersion shifted fiber).
EDFA:	amplificador de fibra dopada con erbio (erbium doped fiber amplifier).
EPON:	red óptica pasiva de Ethernet (Ethernet passive optical network).
FBG:	dispersión de bragg de la fibra (fiber bragg grating).
FBT:	golpeado por fusión bicónica (fused biconical taped).
FC:	conector FC (ferrule connector).
FCS:	secuencia de verificación de trama.
FDDI:	interfaz de datos de distribución de fibra (fiber distributed data interface).
FEC:	corrección de errores en retransmisión (forward error correction).
FO:	fibra óptica.

FP:	Fabry-Perot.
FSAN:	red de acceso de servicio completo (full service access network).
FTTH:	fibra hasta el hogar (Fiber To The Home).
FWM:	Modulación de cuarta onda (fourth wave modulation)
GEM:	modo de encapsulación GPON (GPON encapsulation mode).
GFC:	Control de flujo genérico (generic flow control).
GFP:	procedimiento de estructuración genérico (generic framing procedure).
GPON:	red óptica pasiva gigabit.
GVD:	dispersión de la velocidad de grupo (group velocity delay).
HDPE:	polietileno de alta densidad.
HDTV:	video alta definición sobre IPTV (high definition TV).
HEC:	corrección de error de cabecera (header error correction).
HFC:	cables híbridos de fibra y coaxial (hibrid fiber-coaxial).
HHT:	alto voltaje de trigger.
ICT:	instalación común de telecomunicaciones.
IEEE:	Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (The Institute of Electrical and Electronics Engineers).
ILD:	diodo de inyección laser (injection laser diode).
IPTV:	televisión sobre IP.
ITU:	Unión internacional de telecomunicaciones (Internacional Telecommunication Union).
Láser:	Light Amplification by Stimulated Emisión of Radiation.
LED:	diodos de emisión de luz (light-emitting diode).
MM:	multimodo.
NRZ:	sin retorno a cero (non return to zero).
NZDSF:	fibras ópticas monomodo de dispersión desplazada no nula (non zero dispersion shifted fiber).
OAF:	filtro óptico analógico (optical analogic filter).
ODF:	filtro digital óptico (optical digital filter).
ODN:	red de distribución óptica (optical distribution network).
OLED:	LED orgánico (organic LED).
OLT:	terminación óptica de línea (optical line termination).
OMCI:	interfaz de control y mantenimiento ONT (ONT management and control interface).

ONT:	terminación óptica de red (optical network termination).
OPEX:	cálculo de gastos operativos.
PCBd:	bloque de control físico del canal descendente (physical control block downstream).
PC:	pulido de contacto físico (physical contact).
PE:	polietileno
PEM:	método de encapsulado PON (PON encapsulation method).
PIN:	fotodiodo P-I-N.
PLC:	circuito plana de onda ligera (planar lightwave circuit).
PMD:	Dispersión por polarización del modo (polarization mode delay).
POF:	fibras ópticas de plástico (plastic optical fiber).
PU:	poliuretano.
PON:	red óptica pasiva (passive optical network).
POTS:	servicio de voz tradicional (plain old telephone services).
PPV:	servicios de pago por visión o pago por evento (pay per view).
PT:	tipo de información de usuario (payload type).
PTRO:	punto terminal de red óptica.
PVC:	plicloruro de vinilo.
RITI:	recinto de instalación de telecomunicaciones inferior.
RTA:	aplicaciones en tiempo real (real time applications).
SA:	dirección de origen.
SAM:	estructura de fotodiodo APD (separate absorption multiplication).
SBS:	dispersión estimulada de Brillouin (stimulate Brillouin scattering).
SC:	conector (standard connector).
SDTV:	video de definición estándar sobre IPTV (standard definition TV).
SIN:	interfaz de red de servicios (services network interface).
SM:	monomodo.
SMF:	fibras ópticas monomodo estándar (standard single mode fiber).
SOA:	amplificadores ópticos de semiconductor (semiconductor optical amplifier).
SOF:	bit más significativo del campo dirección MAC de destino.
SPM:	modulación de autofase (simple phase modulation).
SRS:	dispersión estimulada de Raman (stimulate Raman scattering).
ST:	conector ST (straight tip).

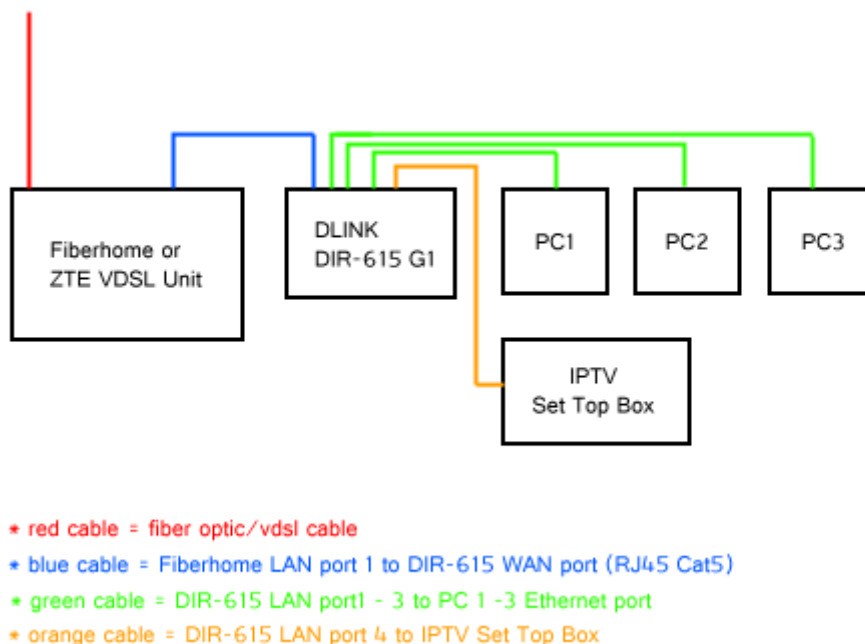
TDM:	multiplexación por división temporal (time division multiplexing).
TDMA:	acceso múltiple por división en el tiempo (time division multiple access).
TWSLA:	amplificador SLA de onda viajera (travelling wave SLA).
UNI:	interfaz de red de usuario (user network interface).
VCI:	identificador de circuito virtual (virtual circuit identifier).
VoD:	video bajo demanda o video a la carta (video on demand).
VoIP:	servicio de voz IP.
VPI:	identificador de ruta virtual (virtual path identifier).
WDM:	multiplexación por división en longitud de onda (wavelength division multiplexing).
XGM:	modulación de ganancia cruzada (cross gain modulation).
XPM:	modulación de fase cruzada (cross phase modulation).

# ANEXO 1

## INSTALACIÓN DE EQUIPOS FTTH EN UN HOGAR

La instalación de varios servicios en el hogar es posible por un solo equipo que permita separar los servicios por un puerto determinado, o de forma independiente por un equipo por servicio. Es importante recordar que se está utilizando el protocolo TCIP para transportar los servicios al cliente asignando una IP única para garantizar un canal específico y personal. La digitalización ayudará a codificar el equipo que se instalará al cliente y será controlado por el operador de servicios.

Hay actualmente dos métodos principales para aprovechar la fibra óptica que llega al hogar usando módems que usa VDSL (unidades de alta velocidades). Una de ellas es utilizar módems Fiberhome (que convierte el puerto de fibra óptica de llegada a puertos de salida en RJ-45) y el otro modelo es usa un ZTE VDSL módems (que hace lo mismo que el anterior equipo pero tiene incorporado un puerto para cada servicio incluyendo para telefonía puertos RJ11) En la siguiente grafica de la figura 1a se puede observar la conexión de los dos módulos importantes de equipo, el ZTE VDSL y el DIR-615 G1 de la marca D-Link.



**Figura 1.a** Representación de los módulos electrónicos

En la unidad residencial Fiberhome, se han incluido puertos para:

- el cable de fibra óptica monomodo (patch cort SM)
- el cable de poder
- un puerto USB para la batería
- 3 puertos RJ-45 LAN para red interna (PC)
- 1 puerto RJ-45 para IPTV (televisión por protocolo TCIP)
- 1 puerto RJ-45 para consola (configuraciones del equipo)
- 2 puertos RJ-11 para dos líneas telefónicas.
- Un botón de encendido y apagado.

En la grafica figura 1.b muestra lo antes indicado.



**Figura 1.b** Representación de los puertos disponibles

En la siguiente grafica figura 1.c se muestra el equipo DIR- 615 G1 de la marca D-Link como otra solución a la instalación. Un ruteador (router) que tiene puertos RJ-45 para la red WAN/LAN. Los puertos son:

- el cable de poder
- 3 puertos RJ-45 LAN para red interna (PC)
- 1 puerto RJ-45 para IPTV (televisión por protocolo TCIP)
- 1 puerto RJ-45 WAN (red externa)
- 2 antenas para internet inalámbrico (wireless)
- Un botón para el reinicio del equipo.



**Figura 1.c** Puertos del equipo DIR- 615 G1

El punto terminal de la fibra óptica se la puede conectar en una pared de manera sencilla y posee un puerto de conexión SC. También se observa el cable óptico interno que conecta a los equipos activos. Pequeña caja de terminación para la fibra cable óptico (sobre izquierdo). El cable izquierdo (en negro) viene directamente del exterior de su casa. El cable blanco (sobre el derecho) con conectores de enchufe es usado unirse en la unidad Fiberhome. En la grafica 1.d se observa lo antes mencionado.





**Figura 1.d** Caja de conexión cable acometida con cable interno.

En la caja de conexión IPTV se puede observar en la figura 1.e los puertos existentes.

- 1 RJ-45 rojo para ser conectado en red
- Varios conectores para salidas de video/audio en calidad de señal (HDMI, S/PDIF, video S, video analógico )
- 1 puerto USB ( desconocida su función)
- 1 puerto de alimentación DC
- Un botón para encendido y apagado del equipo.



**Figura 1.e** Caja de conexión para señal de video.

## ANEXO 2

### **ARMARIOS DE USO EXTERNO PARA CONEXIONES FTTH (Street Cabinet SCM)**

Una nueva plataforma de distribución para armarios de servicio de las compañías de telecomunicaciones que facilita la rápida expansión de redes de fibra óptica con cobertura completa. La firma suiza R&M, especialista en cableado, comercializa esta plataforma bajo la denominación Street Cabinet SCM. Dicha plataforma amplía la familia Single Circuit Managemet (SCM) desarrollada por R&M y es capaz de conectar hasta 1152 fibras ópticas en un solo armario de servicio. En la grafica 2.a se muestra el armario y se puede observar su organización interna.



**Figura 2.a** Armario de conexión de fibra monomodo (Street Cabinet SCM)

Dicho armario facilita las conexiones de fibra en domicilios con una nueva solución de distribución y sets actualizados. El armario de servicio SCM conecta hasta 1152 fibras en un separador. Gracias a sus módulos de empalme y de parcheo, la plataforma de distribución puede instalarse en todos los armarios de exterior y separadores convencionales del mercado, siempre que éstos dispongan de espacio suficiente para el montaje.

Este modelo de armario ofrece adaptar las placas de montaje y proporcionar módulos completos predeterminados para facilitar la actualización. Los envoltentes UNI de la gama son idóneos para primeras instalaciones; todos los componentes pueden ser montados directamente en el armario casi instantáneamente. La

sustitución del cableado de cobre por redes de fibra óptica puede realizarse ahora de un modo más eficaz y rentable en todas las ubicaciones. Los abonados, por su parte, disfrutarán en menos tiempo de los beneficios de la banda ultra ancha.

El módulo de empalme puede equiparse con hasta 48 bandejas de empalme SC o 24 bandejas SE de la gama SCM. Estas bandejas pueden albergar 6 o 24 fibras. La plataforma es compatible, por lo tanto, con los cables de tubo suelto de 24 fibras modernos, siendo igualmente válida para todos los demás tipos de cable convencionales del mercado. Las bandejas se insertan en el módulo instantáneamente y es posible pasar de una a otra de modo similar al de las tarjetas de un archivador. Puede asignarse cada bandeja a una calle, por ejemplo, o bien a un edificio o a abonados individuales. Un espacio para etiquetas intercambiables, números y códigos de colores facilita aún más la administración de un gran número de fibras. El módulo de parcheo en paralelo admite hasta doce insertos con doce conectores. Acepta los conectores LC dúplex, SCRJ y E-2000TM.

La ampliación de redes de banda ancha está provocando un incremento exponencial del volumen de fibras ópticas instaladas. Los operadores de redes necesitan nuevas soluciones para administrar este volumen de forma eficaz y fiable. Por esta razón R&M ha desarrollado el programa Single Circuit Management (SCM), un sistema de bandejas modulares idóneo para todas las áreas de la red, desde el distribuidor principal hasta la acometida en el edificio.

SCM permite administrar las fibras y conexiones de abonado de modo uniforme. Complementa las estrategias de mercado actuales, como Fiber-To-The-Home (FTTH) y Point-To-Point (P2P) o Point-To-Multipoint (P2MP), y abre el camino a futuras aplicaciones de alta potencia y xWDM para redes de banda ultra ancha. Su radio de curvatura mínimo, de 40 milímetros, es una de las características más notables de los productos SCM. Este radio, que evita posibles tensiones, minimiza las pérdidas por atenuación de las fibras y facilita su manipulación durante la instalación, lo que tiene un efecto.

Página Web. [www.fibraopticahoy.com](http://www.fibraopticahoy.com) ---- 17:08 21/05/2011----

## ANEXO 3

### **Bastidor de distribución óptica (ODF)**

La empresa M&R presente en SITlasLAN `11 presentó el nuevo sistema ODF, en CASADOMO el 17/Mar/2011. La firma suiza R&M, especialista en infraestructuras de redes y telecomunicaciones, ha confirmado su presencia en la décimo octava edición de SITlasLAN que tubo lugar desde el 5 al 7 de abril de 2011 en el pabellón 1 de IFEMA. Esta nueva edición marcará un punto de inflexión desde una perspectiva tecnológica como consecuencia del impacto del Cloud Computing y otros fenómenos como la virtualización y la concentración en Centros de Datos. R&M apoya la especialización y el carácter profesional de esta feria tecnológica de referencia en España, dirigida a profesionales que acuden en busca de nuevas soluciones tecnológicas y a proveedores especializados a los que les pueda ayudar a mejorar la competitividad de sus Organizaciones. En la figura 3.a se observa la organización de cables monomodo de cientos de abonados con fibra óptica FTTH. Este bastidor es ideal para la instalación en las centrales de mando.



**Figura 3.a** Bastidor de conexión de fibra monomodo

El equipo de R&M presentará entre otros productos, soluciones novedosas como su nuevo Sistema ODF, por el cual ya no existen límites para el crecimiento de las redes de fibra óptica gracias a su bastidor de distribución óptica (ODF) y al nuevo sistema individual de circuitos (SCM).

Así mismo, se presentará una amplia gama de soluciones flexibles plug & play para CPD's (cobre, fibra, canalizaciones, organización de cableado de alta densidad) que garantizaran las prestaciones y eficiencia de los CPD's, junto con la solución Cat. 6A, el nuevo conector en formato RJ45 para redes de datos en centros de procesamiento, oficinas y edificios, el adelanto decisivo para la aplicación segura de Ethernet de 10 Gigabits y 500 MHz . Visiste SITlasLAN'11 y podrá conocer estas y otras muchas soluciones de R&M, así como a su equipo, con el que podrá intercambiar información a cerca de las tendencias del sector.

Pagina Web. <http://www.rdm.com> ---- 17:08 21/05/2011----



## ANEXO 4

### Cables ADSS para el exterior.

El cable ADSS (Todo dieléctrico auto-soporte monomodo) es ideal para sus instalaciones en distribución, así como para entornos de transmisión, inclusive cuando instalaciones en vivo son requeridas. Como su nombre lo indica, no requiere de soporte o cable mensajero, por lo que la instalación se realiza en un solo paso; convirtiendo así a la tecnología ADSS, en un procedimiento sencillo y económico para establecer una red de fibra óptica. La tecnología ADSS es adecuada para el uso de transmisión en líneas de distribución y de alto voltaje. Pista resistente con cubierta exterior AT para instalaciones de alto voltaje en las que el potencial espacial alcanza los 25kV. Los tubos rellenos de gel son S-Z, compuestos para facilitar el acceso al centro del tramo. El cable está protegido contra el agua, por lo que no se crea ningún deterioro creado por inundaciones.

Los detalles de diseño del cable de fibra están definidos por las más usadas en el mercado que son más baratas, frente a los diseñados por empresas a pedidos especiales. No hay limitaciones en la construcción de un cable exterior que contenga más de 1000 hilos de fibra óptica, pero el costo es mucho mayor a los diseños comerciales. Presentamos un diseño de cable de fibra tipo comercial ya existente en el mercado. Hay variaciones en cantidad de hilos y longitudes por bobinas. Los detalles del diseño para longitudes existentes se muestran a continuación en la figura 4.a



Figura 4.a Descripción de cables de fibra monomodo

[www.opfibracorp.com/.../adss\\_standard.html](http://www.opfibracorp.com/.../adss_standard.html)

## ANEXO 5

### **Estándar IEEE 802.3ba (ethernet a 100Gbps)**

***Informativo publicado el 22 junio 2010 por Eduardo Collado.***

Hoy se ha aprobado el nuevo estándar IEEE 802.3ba, el estándar que define la llamada ethernet de 40 y 100 Gbps. En esta época una noticia muy esperada por todos los que se dedican profesionalmente al mundo de las telecomunicaciones, ya que representa un avance necesario. El estándar 100 Gigabit Ethernet (GbE) era necesario y no podía demorarse más, de hecho no son pocos los ISPs o las operadoras que tenían ya necesidad de este estándar.

Hasta hace poco los enlaces de 10Gbps podían ser suficientes, pero el aumento de la necesidad de ancho de banda hacía que fueran pocos los que se dedicaran a agregar enlaces de 10Gbps para conseguir lo que necesitábamos. Ahora es el turno de los fabricantes de equipos de telecomunicaciones, ya que es el momento para empezar a desarrollar equipamiento que sea compatible con el estándar. La importancia de los estándares estriba en la interconexión de equipamiento de distintos fabricantes, ya que hasta ahora todas las implementaciones que existían de 100GbE eran soluciones propietarias, aunque siguiendo los borradores del estándar que existía, que podían impedir la interconexión de por poner un ejemplo routers Cisco con routers de otras marcas.

El estándar define dos velocidades, una a 40Gbps y otra a 100Gbps, la de 40Gbps es el límite de transferencia de la arquitectura PCI, es decir, los servidores no podrían transmitir a más de 40Gbps, sin embargo equipamiento que utilice Circuitos Integrados Específicos de Aplicación (ASICs) para esta funcionalidad serán capaces de transmitir con una tasa de 100Gbps. También es importante diferenciar el ancho de banda con la velocidad de transferencia de los interfaces. El estándar no define que las líneas vayan a ir a una velocidad de 100Gbps, el estándar define que se pondrán 100 Gigabits de información en cada segundo en el cable.

En el caso de aplicaciones basadas en el protocolo TCP tendrán que superar el antiquísimo problema del squeeze o variación del tamaño de ventana y el límite del tamaño máximo de ventana. Es decir, utilizando aplicaciones como por ejemplo HTTP la velocidad efectiva será inversamente proporcional al retardo entre el emisor y el receptor. Esto es debido a que el receptor tiene que indicar que está preparado

para recibir más datos y el emisor tendrá que esperar hasta recibir la respuesta del receptor, esto hace que no se esté enviando información constantemente y que la utilización del enlace no sea óptima. Ahora si juntamos miles de peticiones de este estilo y utilizando multiplexación estadística podremos sin lugar a dudas conseguir los ansiados 100Gbps.

En definitiva, Internet acaba de dar un paso de gigante, quizás no os imaginéis cuanto, pero Internet no son sólo los contenidos, para que podamos ver los contenidos en nuestros ordenadores es necesaria una infraestructura subyacente y esa tecnología ha tenido un avance de gigante hoy. Enhorabuena por los tres años de duro trabajo del grupo de desarrollo "IEEE P802.3ba 40Gb/s and 100Gb/s Ethernet Task Force", gran trabajo, un gran ejemplo para todos los que amamos este sector y esta tecnología.



**Figura 5.a** Fibra monomodo para redes FTTH

<http://eduangi.com/2010/06/22/aprobado-el-estandar-ieee-802-3ba-ethernet-a-100gbps/>



