



UNIVERSIDAD AMERICANA DE ACAPULCO

“EXCELENCIA PARA EL DESARROLLO”

FACULTAD DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL

AUTÓNOMA DE MÉXICO

CLAVE DE INCORPORACIÓN 8852-58

**“DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
DE UN ENLACE POR FIBRA ÓPTICA”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

PRESENTA

LUIS ALBERTO DUARTE DÍAZ

DIRECTOR DE TESIS

ING. FRANCISCO NARCÉS DÁVILA ZURITA



ACAPULCO, GUERRERO OCTUBRE DEL 2011.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos.

A toda mi familia, quienes de una forma u otra me han apoyado e impulsado a lo largo de mi desarrollo personal y académico.

A la Universidad Americana de Acapulco, que se convirtió en mi segunda casa en los cinco años que formé parte de ella como estudiante y que aún después de egresado me recibe con las puertas abiertas.

A mis profesores: Ing. Juan Carlos Cañizares Macías, quien fue nuestro Secretario Académico de la carrera, pero además de eso siempre fue un guía, consejero y apoyo incondicional; Ing. Francisco Narcés Dávila Zurita por su asesoría y aportaciones en esta tesis; y también al Ing. Luis Rubén Neri Martínez, Ing. Arturo Ibarra Colín e Ing. Alirio Rojas, por su dedicación y enseñanzas. A la Ing. Eloisa Mercedes Vivas Villasana y a todo el equipo administrativo de la Universidad, por sus atenciones hacia la culminación de este esfuerzo.

A mis compañeros de generación de Computación y Telecomunicaciones, con quienes compartí grandes vivencias y momentos agradables.

A mis compañeros de trabajo, por sus enseñanzas, a los Ingenieros Eliud Trejo Hernández y Nector Núñez Medina de quienes he aprendido profesionalmente.

Dedicatorias.

A Dios, por permitirme contar con salud y por las bendiciones y oportunidades que me ha dado en la vida.

A mis Abuelos[†], quienes me hubiera gustado que presenciaran esta etapa de mi vida, pero sé que donde estén, se encuentran compartiendo esta satisfacción conmigo. Este logro se los dedico también a ustedes.

A mi abuelita quién tengo la dicha de tener a mi lado, por su cariño y apoyo para nunca darme por vencido.

A mis Padres, por su amor, sacrificio y esfuerzo que hicieron al brindarme una oportunidad de estudio, por los valores que me han inculcado, sus enseñanzas y consejos que me han hecho formar mi criterio, carácter y personalidad. Lo que soy es por ustedes.

A mi Hermana, por apoyarme en los momentos difíciles y en todo momento.

Índice

Introducción.	1
Capítulo 1: Antecedentes.	4
1.1 Planteamiento del problema.	6
1.2 Justificación.	7
1.3 Hipótesis.....	7
1.4 Objetivo general.....	8
1.5 Objetivos específicos.	8
Capítulo 2: Marco teórico.	10
2.1 Espectro electromagnético.....	11
2.2 Propagación de la luz.....	12
2.3 Tipos de fibras ópticas por su fabricación.	19
2.4 Tipos de fibras ópticas por su modo de propagación.	20
2.5 Fuentes de luz.....	23
2.6 Sistema de comunicación de fibra óptica.	23
2.7 Ventajas y Desventajas de la fibra óptica.....	25
2.8 Identificación del proceso.....	26
Capítulo 3: Tecnologías de transporte PDH-SDH.	28
3.1 Breve reseña de los sistemas de transmisión.....	28
3.2 Modulación por Pulsos Codificados PCM.....	29
3.3 Jerarquías digitales PDH.....	31
3.4 Breve reseña del sistema SDH.	33
3.5 Principales características del sistema SDH.....	34
3.6 Ventajas del sistema SDH sobre el PDH.....	35
3.7 Estructura de la trama síncrona STM1.	35
3.8 La estructura de multiplexión SDH.	38
3.9 Elementos de un sistema de transmisión síncrona.....	43

Capítulo 4: Implementación de la tecnología SDH.	47
4.1 Funcionalidades del 1660SM.	48
4.2 Especificaciones técnicas.....	50
4.3 Recomendaciones de la UIT-T que cumple el 1660SM.....	51
Capítulo 5: Etapa 1-Instalación del cable de fibra óptica.....	53
5.1 Estructura del cable.....	53
5.2 Código de colores.....	54
5.3 Tipos de cable.	55
5.4 Cálculo de la ruta e instalación del cable.	58
5.5 Empalmes.	61
Capítulo 6: Etapa 2-Desarrollo de las conexiones.	66
6.1 Distribuidor óptico.	66
6.2 Conectores.....	67
6.3 Cables de interconexión.	68
6.4 Conexiones.....	69
Capítulo 7: Análisis de pruebas.....	72
7.1 Reflectometría óptica de dominio en el tiempo.....	72
7.2 Interpretación de las gráficas en un OTDR.	73
7.3 Pruebas del enlace con el OTDR.....	78
7.4 Validación del canal con equipo de medición.	83
Capítulo 8: Conclusiones.	86
Capítulo 9: Líneas de investigación y trabajos futuros.....	89
Anexo.....	90
Referencias.....	91
Glosario.....	96

Índice de Figuras

Figura 1 Refracción de un haz de luz.....	13
Figura 2 Refracción de luz del sol.....	14
Figura 3 Ley de Snell	15
Figura 4 Índice refractivo	16
Figura 5 Condición de refracción	17
Figura 6 Angulo de refracción y reflexión	18
Figura 7 Estructura de la fibra.....	19
Figura 8 Fibra monomodo	20
Figura 9 Fibra multimodo.....	20
Figura 10 Sistema de comunicaciones de fibra óptica	24
Figura 11 Modulación por codificación de pulsos.....	28
Figura 12 Codificación con 4 bits	30
Figura 13 Secuencia de impulsos	30
Figura 14 Multiplexaje por división de tiempo (TDM).....	31
Figura 15 Niveles de las jerarquías digitales PDH	32
Figura 16 Niveles de la jerarquía SDH.....	37
Figura 17 Estructura del STM1	38
Figura 18 Mapeo de STM1.....	39
Figura 19 ADM Optinex 1660SM	47
Figura 20 Código estándar TIA/EIA-598.....	55
Figura 21 Cable óptico ADSS.....	56
Figura 22 Cable óptico OPGW	57
Figura 23 Cálculo de la atenuación	59
Figura 24 Modelo de la ruta del cable de fibra óptica.....	60
Figura 25 Ubicación del cable OPGW	60
Figura 26 Empalmadora de fusión.....	62
Figura 27 Alineación de las puntas.....	63
Figura 28 Arco eléctrico	63
Figura 29 Estimación de la pérdida	63
Figura 30 Pérdida del empalme	63
Figura 31 Caja de empalme para cable OPGW	64
Figura 32 Distribuidos óptico	66
Figura 33 Conectores de fibra óptica.....	67
Figura 34 Conectores con pulido UPC y APC	68
Figura 35 Jumpers dúplex monomodo.....	68
Figura 36 Gabinetes de comunicaciones.....	69
Figura 37 Distribución de tubería en gabinetes de comunicaciones.....	70
Figura 38 Nivel de potencia.....	73
Figura 39 Enlace completo.....	73
Figura 40 Pulso de entrada.....	74
Figura 41 Pulso de salida.....	74
Figura 42 Zona de ruido	75
Figura 43 Pulso por reflexión.....	75
Figura 44 Atenuación por empalme.....	76

Figura 45 Ganancia por empalme.....	76
Figura 46 Reflexión por fisura.....	77
Figura 47 Pulso largo	78
Figura 48 Pulso corto.....	78
Figura 49 Gráfica del OTDR	79
Figura 50 Gráfica del OTDR	80
Figura 51 Gráfica del OTDR	81
Figura 52 Gráfica del OTDR	82
Figura 53 Equipo de medición JDSU	83
Figura 54 Trace.Net.....	90

Introducción.

¿Qué tienen en común las organizaciones gubernamentales (Secretarías, Ayuntamientos, Oficinas, etc.) y las empresas (compañías telefónicas, proveedoras de servicio de cable e internet, bancos, etc.) desde el punto de vista de sus sistemas de comunicación e información?

Un punto en común es la necesidad de una conexión a través de un medio que sea eficiente, seguro y ofrezca un ancho de banda elevado para el manejo de su información.

Históricamente, han existido diversos medios que han dado respuesta a esta problemática, como son par trenzado, coaxial, radioenlaces, entre otros. Sin embargo, la fibra óptica ha dado una respuesta más eficiente, segura y económica, a esta necesidad de comunicación de las empresas y organizaciones.

Pero, *¿cómo se hace un enlace real de fibra óptica de punto a punto?*, es ahora la cuestión por resolver.

El objeto de esta tesis es describir cómo se lleva a cabo un enlace punto a punto, mostrando como caso de estudio proveedor-cliente a las empresas **CFEtelecom[®]** y **Cablemás[®]**, respectivamente.

La organización capitular de este trabajo es la siguiente:

En el **Capítulo 1**, se tratan los **antecedentes** de la empresa proveedora del servicio del enlace, a saber, la CFE en su división de CFEtelecom[®].

En el **Capítulo 2**, se expone la base teórica sobre la transmisión de la luz, usando la fibra como medio.

En el **Capítulo 3**, trata acerca del *sistema de transmisión de jerarquía digital síncrona* (SDH), sus características, funcionamiento y ventajas sobre el *sistema de jerarquía digital pleusíncrona* (PDH).

En el **Capítulo 4**, se implementa la tecnología SDH en el enlace, con el equipo 1660SM de Alcatel, el cual puede ser configurado como un sistema SDH multi-servicio.

En el **Capítulo 5**, se lleva a cabo la planeación del tendido de la fibra óptica, así como el cálculo de la longitud de la trayectoria y la pérdida a través de la línea.

En el **Capítulo 6**, se describe el procedimiento para realizar los empalmes de las fibras en los distribuidores ópticos.

En el **Capítulo 7**, ya que están hechos los empalmes, se realizan y se analizan las pruebas realizadas en la fibra con los equipos de medición, también se valida el medio metiéndole tráfico.

En el **Capítulo 8**, se exponen las **conclusiones** a las que se llegó al término de este trabajo.

En el **Capítulo 9**, se definen algunas de las **líneas de investigación** que se derivan de esta tesis y se proponen algunos problemas abiertos para quien desee continuar en **trabajos futuros**.

Se dispone de un agregado de documentación en los **Anexos**, donde se presentan.

Por último, se muestra las obras que fueron consultadas en las **Referencias**.

A continuación se presentan los Antecedentes de la tesis.

CAPÍTULO 1

Antecedentes.

1.1 Planteamiento del problema.

1.2 Justificación.

1.3 Objetivo.

1.4 Hipótesis.

Capítulo 1: Antecedentes.

En la última década, la industria de las comunicaciones electrónicas ha experimentado muchos cambios, notables y dramáticos. Un incremento fenomenal en las comunicaciones de voz, datos y video, ha causado un incremento correspondiente en la demanda de sistemas de comunicación, más económicos y con mayor capacidad. Esto ha causado una revolución técnica en la industria de las comunicaciones electrónicas.

Los sistemas de microondas terrestres han alcanzado, desde hace tiempo, su capacidad y los sistemas de satélite pueden proporcionar, a lo mucho, sólo un alivio temporal a la demanda siempre en aumento. Es obvio que sean necesarios los sistemas de comunicación económicos que pueden soportar grandes capacidades y proporcionar un servicio de alta calidad [Tomassi].

Debido a su alta capacidad y confiabilidad, varias empresas de **telecomunicaciones** están recurriendo a los sistemas de comunicación que utilizan la luz como portadora de información a través de la fibra óptica.

En México son dos las empresas poseedoras de una amplia red de fibra óptica. La de mayor tamaño en la actualidad, es la de **Teléfonos de México (TELMEX)**, empresa privada que presta servicios de telefonía e internet, y que cuenta con 80 mil Km. de fibra óptica terrestre y submarina [LTelmex].

Por la extensión de la red de fibra óptica, el segundo lugar, lo ocupa la red de la **Comisión Federal de Electricidad (CFE)**, con una longitud de aproximadamente 22 mil Km., que representa menos del 30% de la red con que cuenta TELMEX.

CFE es actualmente la única empresa pública encargada de controlar, generar, transmitir y distribuir energía eléctrica en todo el territorio mexicano, que además comercializa los servicios de telecomunicaciones especificados en el Título de Concesión, otorgado por la **Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México (SCT)**, a través de una de sus unidades, denominada **CFEtelecom®**.

En específico, la CFE oficialmente “*es un organismo descentralizado de la Administración Pública Federal, con personalidad jurídica y patrimonio propio, que tiene por objeto la planeación del Sistema Eléctrico Nacional, así como la generación, conducción, transformación, distribución y venta de energía eléctrica para la prestación del servicio público y la realización de todas las obras, instalaciones y trabajos que se requieran para el cumplimiento de su objeto, de conformidad con lo dispuesto en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, la Ley Federal de las Entidades Paraestatales y demás ordenamientos aplicables*” (Art. 1, Cap. 1, Tít. 1 del Estatuto Orgánico de la CFE).

Fue fundada el 14 de Agosto de 1937 por el Gobierno Federal, en el periodo del General Lázaro Cárdenas del Río (21/05/1895 – 19/10/1970). La CFE abastece cerca de 26.9 millones de clientes e incorpora anualmente más de un millón.

Además, la CFE comercializa los servicios de telecomunicaciones especificados en el Título de Concesión otorgado el 10 de Noviembre del 2006 por la SCT, a través de **CFE Telecom**[®], que es la unidad responsable de dicha comercialización. Por esta disposición de la SCT, la red de la CFE ya es subarrendada a firmas de telecomunicaciones y dependencias de gobierno [**CFEcsn**].

Desde hace más de diez años, la CFE cuenta con una red nacional de fibra óptica, que proporciona a la propia empresa los servicios de comunicación digital de alta capacidad, confiabilidad y calidad que se requieren para la seguridad y operación del Sistema Eléctrico Nacional, así como para los sistemas de información técnico-administrativos de los procesos sustantivos de generación, transmisión, distribución, control y construcción.

CFE Telecom[®] ofrece la prestación de los servicios de provisión y arrendamiento de capacidad de la red de fibra óptica de la Comisión Federal de Electricidad, mediante dos servicios:

- **CFE Enlaces**[®]
- **Hoteles Telecom**[®]

Los CFE Enlaces[®] son los servicios de telecomunicaciones, consistentes en la infraestructura que permite la conexión privada punto a punto entre dos domicilios del cliente para su uso exclusivo [**CFEtlcm**].

Los CFE Enlaces[®] se componen de dos elementos: los accesos locales en cada extremo de la conexión y el circuito internodal entre los puntos de presencia de CFE Telecom[®]. Se ofrecen dos tipos de CFE Enlaces[®]:

- **Clear Channel:** Bajo la modalidad de Clear Channel, CFE Telecom[®] provee un enlace dedicado para que el cliente maneje el protocolo de comunicación que sea de su conveniencia. Estos CFE Enlaces[®] se ofrecen en capacidades desde E1 (2Mbps) hasta STM16 (2,488 Mbps).
- **Ethernet:** CFE Telecom[®] también tiene disponibles CFE Enlaces[®] en protocolo Ethernet, en capacidades de 2 Mbps hasta 1,000 Mbps.

Hoteles Telecom[®] es el servicio de acceso a sitios de conexión, son servicios complementarios que presta CFE Telecom[®], incluyen los siguientes componentes:

- **Servicio de Alojamiento:** Espacio exclusivo en los Hoteles Telecom® para colocación de equipos.
- **Servicio de Conectividad:** Conexiones entre los clientes que se encuentren alojados en el Hotel Telecom®.

Actualmente, la CFE ofrece tarifas hasta 15% inferiores a las de TELMEX, de acuerdo con fuentes de la **Cámara Nacional de la Industria de Telecomunicaciones por Cable (CANITEC)**, según refiere.

Dentro de las empresas más importantes que dejaron de contratar los servicios de TELMEX emigrándose en el 2007 a la red de fibra óptica de CFE, fueron la mancuerna **Cablevisión®** y **Cablemás®**, cableras propiedad de **Televisa®** y **Megacable®**. Este cambio permitió a estas compañías ofrecer lo que ahora se conoce el producto "*triple play*" denominado comercialmente "*Yoo*", paquete que ofrece telefonía, internet y video, integrados en una misma señal.

Dentro del proceso de enlace por fibra óptica arrendado por **Cablemás®** a **CFEtelecom®**, el cliente (**Cablemás®**), puede solicitar enlaces específicos de un lugar a otro dentro del territorio nacional, según sus necesidades.

Uno de los requerimientos de conexión solicitados por **Cablemás®**, era enlazar las ciudades de México D. F. y Acapulco, Gro., con una capacidad de 1000 Mbps, utilizando el servicio de Hoteles Telecom®.

Precisamente, es la descripción de este proceso de enlace por fibra óptica el propuesto como caso de estudio en esta investigación.

1.1 Planteamiento del problema.

La empresa **Cablemás** con sede en la ciudad de Acapulco contrató los servicios de **CFE Telecom®**, en el que requiere un enlace de comunicaciones punto a punto vía fibra óptica, teniendo como puntos de enlace, la Coordinación Regional de Fibra Óptica en la Ciudad de México y el Hotel Carrier Acapulco.

Cablemás hará llegar su fibra óptica desde su **site** en Acapulco, hasta el Hotel Carrier, en donde estará un gabinete asignado para que ellos instalen sus dispositivos que transmitirán sus datos a través del canal que **CFE Telecom** le proporcionará.

Esta misma operación será hecha en la Ciudad de México, pero de la denominada punta "A" se encargará otro equipo, en este proyecto se analizará todo lo necesario para establecer la punta "B" en el Hotel de Acapulco.

1.2 Justificación.

Se aborda este tema de investigación en este trabajo de tesis por que los sistemas de comunicaciones ópticas se encuentran dentro de las actividades profesionales que desarrollará el egresado de la carrera de ingeniería en telecomunicaciones, de acuerdo al perfil profesional de la Universidad Nacional Autónoma de México.

En el plan de estudio de la carrera, se encuentra la materia de **sistemas de comunicaciones ópticas**, que de acuerdo a su descripción, el alumno comprenderá el funcionamiento, parámetros y características de los sistemas de comunicaciones ópticas de diferentes tipos, aplicará las técnicas y equipos de medición para las comunicaciones ópticas, analizará los fenómenos que limitan las características de diferentes elementos, formulará las exigencias técnicas para un sistema de comunicaciones ópticas, determinará los parámetros fundamentales de un sistema para una aplicación en particular y escogerá los elementos pasivos y activos más adecuados para este sistema, además realizará el cálculo o diseño de un enlace por fibra óptica.

Las tecnologías modernas de iluminación utilizadas en la red de fibra óptica permiten que las mismas fibras que se emplean para las aplicaciones técnico administrativas de la CFE, tengan el potencial para proporcionar servicios a terceros.

1.3 Hipótesis.

Implementándose la infraestructura y tecnologías necesarias para un sistema de comunicaciones ópticas se llevará a cabo la puesta en servicio del enlace que solicita el cliente.

En este trabajo de tesis se documentará la metodología empleada en el desarrollo de este proyecto de telecomunicaciones.

1.4 Objetivo general.

El objetivo del proyecto es realizar la planeación e implementación de un sistema de comunicaciones ópticas capaz de satisfacer los requerimientos de comunicación que el cliente Cablemás está solicitando.

1.5 Objetivos específicos.

El objetivo de esta tesis es describir el proceso de un enlace de telecomunicaciones vía fibra óptica y así establecer una conexión privada punto a punto, de CFE Telecom[®] a la empresa operadora de telecomunicaciones Cablemás a una capacidad de 1000 Mbps.

Como objetivo personal me gustaría mencionar que con este trabajo de tesis se busca mostrar el proceso que se realiza por parte de CFE en el área de las comunicaciones, a pesar de ser la industria eléctrica el principal proceso.

CAPÍTULO 2

Marco teórico

2.1 Espectro electromagnético.

2.2 Propagación de la luz.

2.3 Tipos de fibras ópticas por su fabricación.

2.4 Tipos de fibras ópticas por su modo de propagación.

2.5 Fuentes de luz.

2.6 Sistema de comunicación de fibra óptica.

2.7 Ventajas y desventajas de la fibra óptica.

2.8 Identificación del proceso.

Capítulo 2: Marco teórico.

Para poder comprender como se lleva a cabo un sistema de comunicación de fibra óptica es necesario remontarnos a la historia, la naturaleza y las propiedades de la luz han sido tema de investigación de los científicos desde hace varios años, Newton trató de explicar la reflexión y refracción de la luz a través de una antigua teoría de los griegos en la que creían que la luz estaba formada por pequeñas partículas llamados corpúsculos que eran emitidas por las fuentes de luz.

En el año de 1670 el científico de origen danés, Christian Huygens, contemporáneo de Newton, explicó muchas de las propiedades de la luz al proponer que se comportaba como una onda. En 1803, Thomas Young aportó a la teoría ondulatoria con sus investigaciones al demostrar que los haces de luz pueden interferir entre sí. En 1865, Maxwell desarrolló una brillante teoría donde demostró que la luz es una forma de onda electromagnética de alta frecuencia que viaja a la rapidez de la luz.

En 1880, Alexander Graham Bell, experimentó con un aparato que llamó fotófono. El fotófono era un aparato construido con espejos y detectores de selenio, que transmitía ondas de sonido a través de un haz de luz. El fotófono no era confiable y sin ninguna aplicación práctica. En realidad la luz visual era el medio principal para comunicarse, antes que las comunicaciones electrónicas surgieran. Durante mucho tiempo se usaron señales de humo para mandar mensajes cortos y sencillos. Sin embargo, el artefacto de Bell, fue el primer intento de usar un haz de luz para llevar información **[Serway]**.

La transmisión de las ondas de luz por cualquier distancia útil por la atmósfera de la Tierra es impráctica, porque el vapor de agua, el oxígeno y partículas en el aire absorben y atenúan las señales en las frecuencias de luz. En consecuencia, el único tipo práctico de sistema de comunicación óptica es el que utiliza una guía de fibra.

En 1930, J. L. Baird, un científico inglés, y C. W. Hansell, de Estados Unidos, fueron concesionados con las patentes para rastrear y transmitir imágenes de televisión, a través de cables de fibra no cubiertos. Unos cuantos años después, un científico alemán llamado H. Lamm, transmitió exitosamente imágenes a través de una fibra de vidrio sencillo.

En ese momento, la mayoría de las personas consideraban a las fibras ópticas más como un juguete o hazaña de laboratorio y, en consecuencia, no fue sino hasta principios de los años 50, que se hicieron avances sustanciales en el campo de la fibra óptica.

En 1951, A. C. S. van Heel, de Holanda; H. H. Hopkins y N. S. Kapany, de Inglaterra, experimentaron con la transmisión de la luz a través de paquetes de fibras. Sus estudios llevaron al desarrollo del fibroscopio flexible, el cual se usa

extensamente en el campo médico. Fue Kapany quien acuñó el término “fibra óptica” en 1956.

En 1958, Charles H. Townes, de Estados Unidos, y Arthur L. Schawlow, de Canadá, escribieron un artículo describiendo cómo era posible usar emisión estimulada para amplificar las ondas de luz (láser), y las microondas (másér). Dos años después, Theodore H. Maiman, científico de Hughes Aircraft Company, construyó el primer másér óptico.

El láser (de light amplification by stimulated emission of radiation, amplificación de luz por emisión estimulada de radiación) fue inventado en 1960. La potencia relativamente alta de salida del láser, alta frecuencia de operación y capacidad para portar un ancho de banda extremadamente grande, lo hacen ideal para sistemas de comunicación de alta capacidad.

La invención del láser aumentó bastante los esfuerzos de investigación en las comunicaciones de fibra óptica, aunque fue hasta 1967 que K. C. Kao y G. A. Bockham, del *Standard Telecommunications Laboratory* de Inglaterra, propusieron un medio nuevo de comunicaciones usando cables de fibra cubiertos.

Los cables de fibra disponibles en la década de 1960 tenían pérdidas extremadamente grandes (más de 1000 dB/km), lo cual limitaba las transmisiones ópticas a distancias cortas. En 1970, Kapron, Keck y Maurer, de Corning Glass Works, en Corning, New York, desarrollaron una fibra óptica con pérdidas menores a 2 dB/km. Ese fue el “gran” descubrimiento necesario para permitir los sistemas prácticos de comunicaciones de fibra óptica.

Desde 1970, la tecnología de fibra óptica ha crecido desmesuradamente.

A finales de los años 70 y principios de los 80, el refinamiento de los cables ópticos y el desarrollo de fuentes de luz y detectores de alta calidad y económicos, abrieron la puerta al desarrollo de sistemas de comunicación de fibra óptica de alta calidad, capacidad y eficiencia. A fines de la década de 1980 las pérdidas en las fibras ópticas se redujeron hasta 0.16 dB/km, y en 1988, NEC Corporation estableció un récord de transmisión a gran distancia, al enviar 10 Gbits/s con 80.1 km de fibra óptica. También en 1988, el Instituto Nacional Americano de Normas (**ANSI**) publicó Synchronous Optical Network (**SONET**). A mediados de la década de 1990, las redes ópticas para voz y datos eran lugar común en Estados Unidos y en gran parte del mundo [**Tomassi**].

2.1 Espectro electromagnético.

El espectro de la frecuencia electromagnética se extiende, desde las frecuencias subsónicas (unos cuantos hertz) hasta los rayos cósmicos (10^{22} Hz). El espectro de frecuencia de luz se puede dividir en tres bandas generales:

1. **Infrarrojo:** banda de longitudes de onda de luz que son demasiado grandes para ser vistas por el ojo humano.
2. **Visible:** banda de longitudes de onda de luz a las cuales el ojo humano responderá.
3. **Ultravioleta:** banda de longitudes de onda de luz que son demasiado cortas para ser vistas por el ojo humano.

Cuando se trata con ondas electromagnéticas de frecuencia superior, tales como la luz, es común usar unidades de longitud de onda en vez de frecuencia. La longitud de onda es la longitud de la onda que un ciclo de una onda electromagnética ocupa en el espacio. La longitud de una longitud de onda depende de la frecuencia de la onda y la velocidad de la luz. Matemáticamente una longitud de onda es:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

donde:

λ designa la *longitud de onda* (medida en metros por ciclo),
 $c = 300,000,000$ m/s es la *velocidad constante de la luz*, y
 f es la *frecuencia* (medida en Hertz, [Hz]).

Con las frecuencias de luz, una longitud de onda es frecuentemente establecida en micrones (1 micrón = 1 micrómetro), o nanómetro (1 nanómetro = 10^{-9} metros o 0.001 micrón). Sin embargo, cuando se describe el espectro óptico, la unidad angstrom (Å), ha sido frecuentemente usada para expresar la longitud de onda (1 Å = 10^{-10} metros o 0.0001 micrón) **[FreemanFO]**.

2.2 Propagación de la luz.

Un átomo tiene varios niveles o estados de energía, el más bajo es el estado de tierra. Cualquier nivel de energía arriba del estado tierra se llama un estado excitado. Si un átomo en un nivel de energía más bajo, la pérdida de energía (en electrón-volt) será emitido como un fotón. La energía del fotón es igual a la diferencia entre la energía de los dos niveles de energía. El proceso del decaimiento de un nivel de energía a otro nivel se llama decaimiento espontáneo o emisión espontánea.

Los átomos pueden irradiarse por una fuente de luz cuya energía sea igual a la diferencia entre el nivel de tierra y un nivel de energía. Esto puede causar que un electrón cambie, de un nivel de energía a otro, absorbiendo la energía de la luz. El proceso de moverse de un nivel de energía a otro se llama absorción. Cuando se hace la transición, de un nivel de energía a otro, el átomo absorbe un paquete de energía llamado fotón. Este proceso es semejante al de emisión **[Haykin]**.

La energía electromagnética, tal como la luz, viaja aproximadamente a 300,000,000 m/s (o su equivalente: 186,000 millas por segundo) en el espacio

libre. Además, la velocidad de propagación es igual, para todas las frecuencias de luz, en el espacio libre. Sin embargo, se ha demostrado que en materiales más densos que el espacio libre, la velocidad se reduce **[Palais]**.

Cuando la velocidad de una onda electromagnética se reduce, conforme pasa de un medio a otro medio de material más denso, el haz de luz se refracta (dobla) hacia la normal como lo muestra la **Figura 1**.

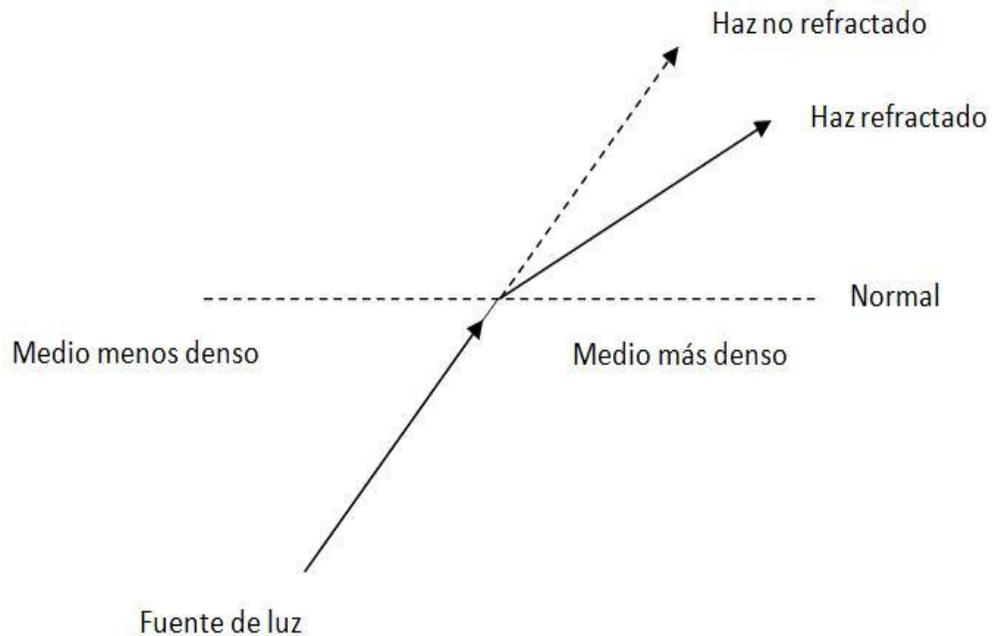


Figura 1 Refracción de un haz de luz

Además, en materiales más densos que el espacio libre, todas las frecuencias de luz no se propagan a la misma velocidad **[MynbaevSchei]**.

La refracción ocurre en ambas interfaces, de viento/vidrio. Las longitudes de onda violeta son las más refractadas, y las longitudes de onda rojas son las menos refractadas. La separación espectral de luz blanca, de esta manera, se llama refracción prismática **[Agrawal]**.

Este es el fenómeno que causa los arcoíris; las gotitas de agua en la atmósfera actúan como prismas pequeños que dividen la luz blanca del sol en varias longitudes de onda, mostrada en la **Figura 2**, creando un espectro de color visible.

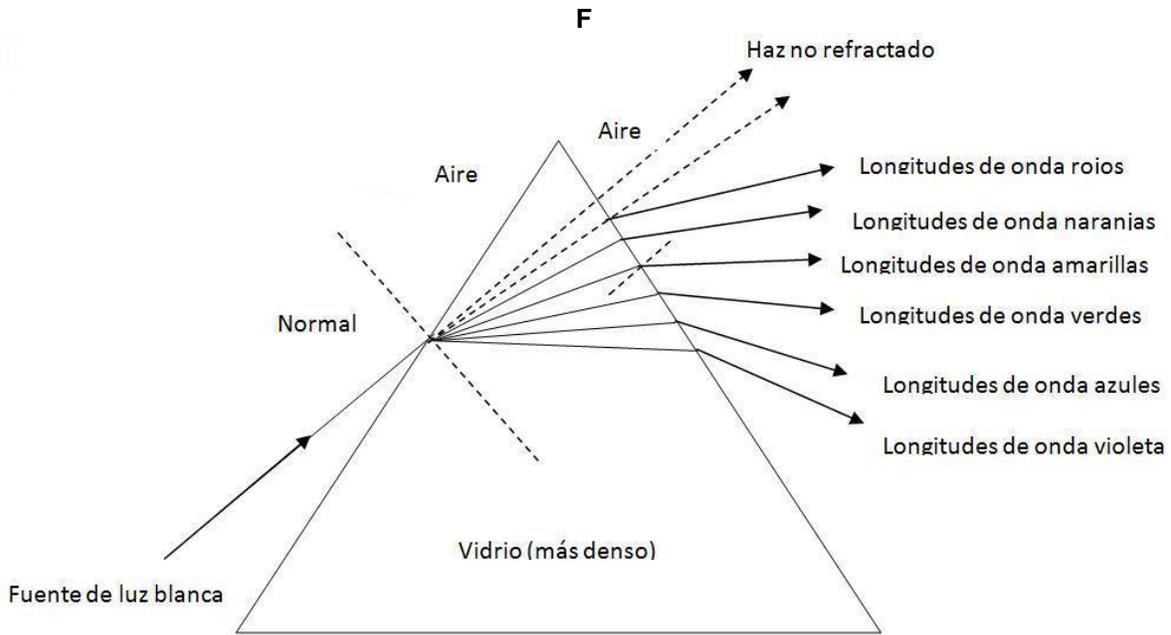


Figura 2 Refracción de luz del sol

La cantidad de doblaje o refracción que ocurre en la interfaz de dos materiales, de densidades diferentes, es bastante predecible y depende del índice refractivo (también llamado índice de refracción) de los dos materiales. El índice refractivo simplemente es la relación de la velocidad de propagación del haz de luz en el espacio libre con la velocidad de la propagación de un haz de luz en un material específico. Matemáticamente, el índice refractivo es **[MynbaevSchei]**:

$$n = \frac{c}{v}$$

en donde c =velocidad de la luz en el espacio libre (300,000,000 m/s)
 v =velocidad de la luz en un material específico.

A través de la ley de Snell se puede conocer cómo reaccionará un haz de luz, cuando se encuentra con la interface de dos materiales transmisibles que tienen diferentes índices de refracción, ilustrado en la **Figura 3**. La ley de Snell establece **[Agrawal]**:

$$n_1 \text{sen} \theta_1 = n_2 \text{sen} \theta_2$$

en donde n_1 =índice refractivo del material 1 (sin unidades)
 n_2 =índice refractivo del material 2 (sin unidades)
 θ_1 =ángulo de incidencia (grados)
 θ_2 =ángulo de refracción (grados)

En la interfaz, el haz incidente debe refractarse hacia la normal o lejos de ella, dependiendo si n_1 es menor o mayor que n_2 .

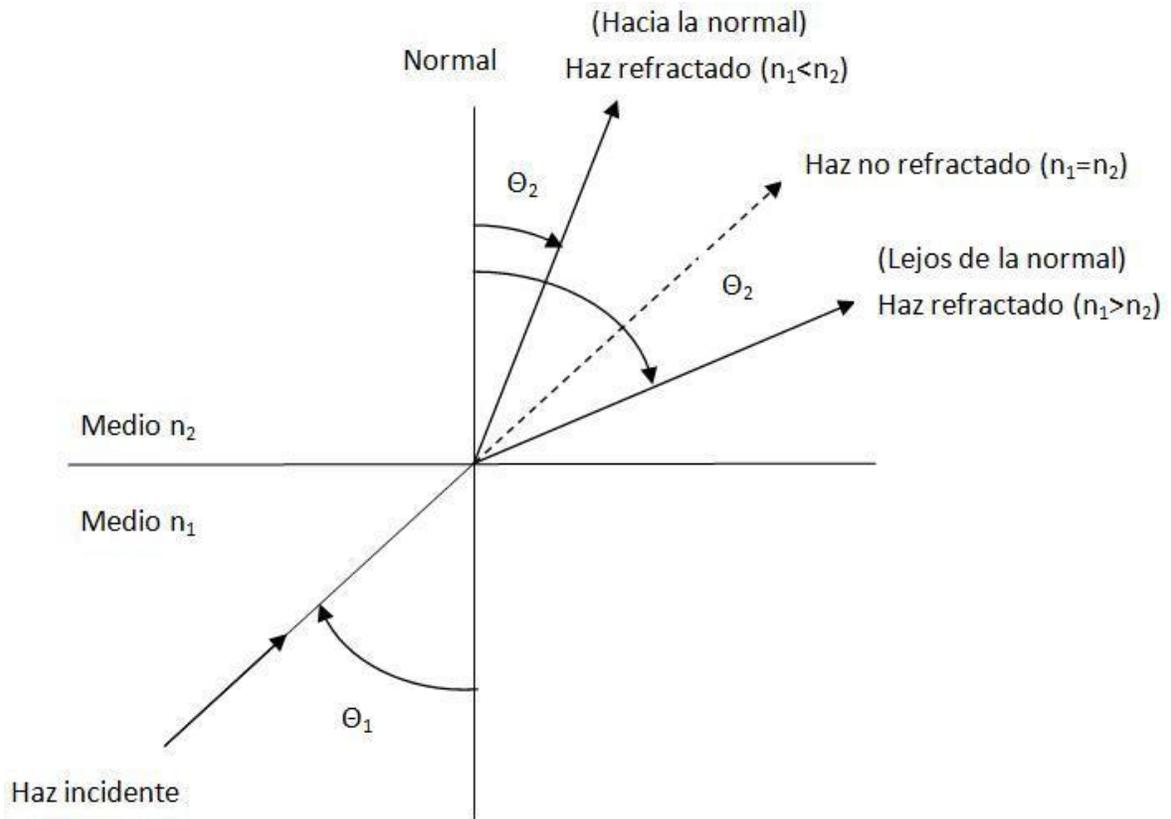


Figura 3 Ley de Snell

La **Figura 4** muestra como un haz de luz se refracta conforme viaja de un material más denso (índice refractivo más alto) a un material menos denso (índice refractivo más bajo). Se observa que el haz de luz cambia de dirección en la interface y el ángulo de refracción es mayor que el ángulo de incidencia. En consecuencia, cuando un haz de luz entra en un material menos denso, el haz se dobla para separarse de la normal [**Palais**].

La normal es simplemente una línea dibujada perpendicularmente a la interface en el punto en donde el haz de incidencia cruza la interface. De manera semejante, cuando un haz de luz entra en un material más denso, el haz se dobla hacia la normal.

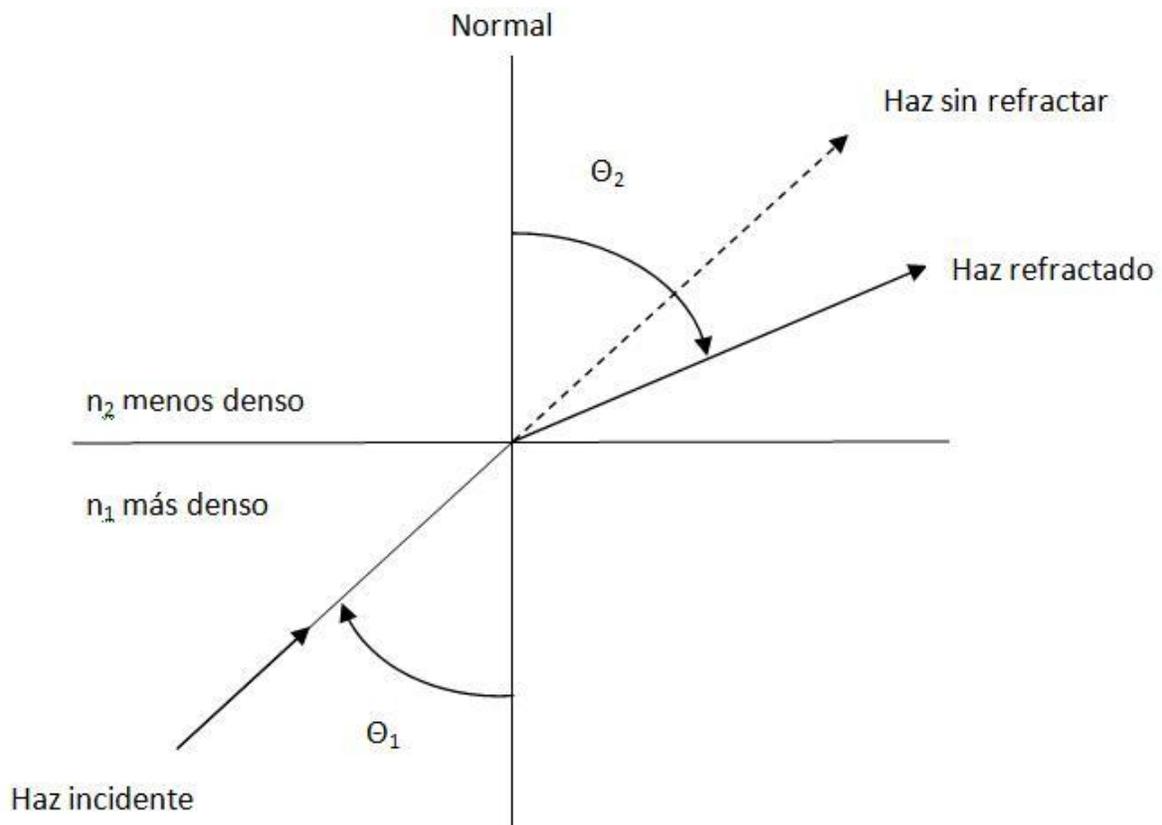


Figura 4 Índice refractivo

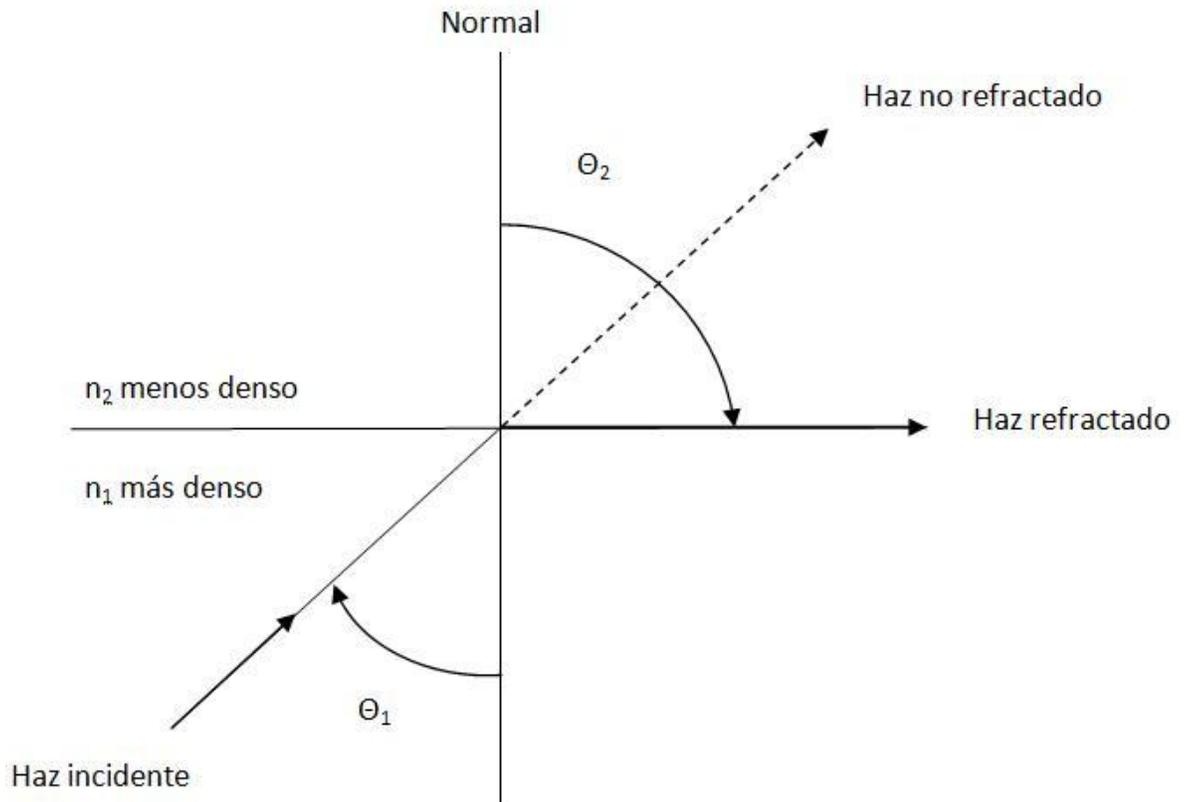


Figura 5 Condición de refracción

Es importante observar que el haz de luz está viajando desde un medio de índice refractivo más alto a un medio con un índice refractivo más bajo, como en la **Figura 5**. Nuevamente, usando la ley de Snell.

$$\text{sen}\theta_1 = \frac{n_2}{n_1} \text{sen}\theta_2$$

Con $\theta_2 = 90^\circ$,

$$\text{sen}\theta_1 = \frac{n_2}{n_1} (1) \quad \text{o} \quad \text{sen}\theta_1 = \frac{n_2}{n_1}$$

y

$$\text{sen}^{-1} \frac{n_2}{n_1} = \theta_1 = \theta_c$$

en donde θ_c es el ángulo crítico.

El ángulo crítico se define, como el ángulo de incidencia mínimo en el cual un haz de luz puede pegarle a la interfaz de los dos medios y resultar en un ángulo de refracción de 90° o más. (Esta definición es válida sólo cuando un haz de luz está viajando desde un medio más a un medio menos denso.) Si el ángulo de refracción es de 90° o más, al rayo de luz no se le permite penetrar al material menos denso. En consecuencia, una reflexión total se realiza en la interfaz, y el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia, ilustrado en la **Figura 6 [Serway]**.

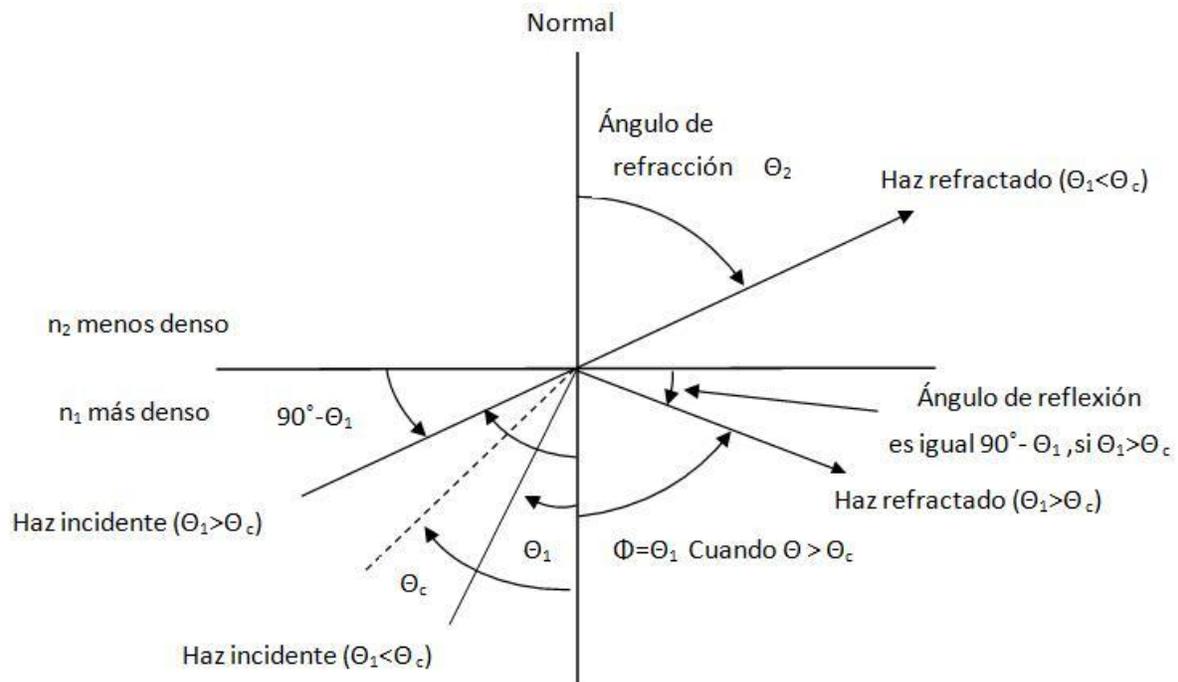


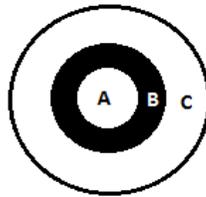
Figura 6 Ángulo de refracción y reflexión

2.3 Tipos de fibras ópticas por su fabricación.

Esencialmente, las fibras ópticas se clasifican de dos formas: por el material con que se fabrican y por su modo de propagación.

Por su material de fabricación hay tres tipos de fibras ópticas disponibles actualmente. Las tres variedades están construidas de vidrio, plástico o una combinación de vidrio y plástico, los tres tipos son **[Haykin]**:

1. El núcleo y revestimiento de plástico.
2. El núcleo y revestimiento de vidrio.
3. El núcleo de vidrio y revestimiento de plástico.



A: Núcleo, B: Revestimiento, C: Cubierta

Figura 7 Estructura de la fibra

La **Figura 7** muestra la estructura de la fibra óptica. Las fibras de plástico tienen varias ventajas sobre las fibras de vidrio. En primer lugar, las fibras de plástico son más flexibles y, como consecuencia, más fuertes que el vidrio. Son fáciles de instalar, pueden resistir mejor la presión, son menos costosas y pesan aproximadamente 60% menos que el vidrio. La desventaja de las fibras ópticas es su característica de atenuación alta: no propagan la luz tan eficientemente como el vidrio **[IEfo]**.

Como consecuencia, las fibras de plástico se limitan a corridas relativamente cortas, como puede ser dentro de un solo edificio o complejo de edificios.

Las fibras con núcleos de vidrio exhiben las características de atenuación baja. Sin embargo, las fibras PCS son un poco mejores que las fibras SCS. Además, las fibras PCS son menos afectadas por la radiación y, por lo tanto, más atractivas a las aplicaciones militares. Las fibras SCS tienen mejores características de propagación y son más fáciles de terminar que las fibras PCS. Desafortunadamente, los cables SCS son menos fuertes, y más sensibles al aumento en atenuación cuando se exponen a la radiación **[FreemanFO]**.

La selección de una fibra, para una aplicación específica, es en función de requerimientos de un sistema específico. Siempre hay negociaciones basadas en la economía y logística de una aplicación en particular.

2.4 Tipos de fibras ópticas por su modo de propagación.

La luz puede propagarse por un cable de fibra óptica, por reflexión o refracción. Como se propaga la luz depende del modo de propagación y el perfil del índice de la fibra.

En la terminología de fibra óptica, la palabra modo simplemente significa trayectoria. Si hay sólo una trayectoria que la luz toma en el cable, se llama modo sencillo o monomodo, como lo ilustra la **Figura 8**. Si hay más de una trayectoria, se llama multimodo, como se muestra en la **Figura 9 [Palais]**.

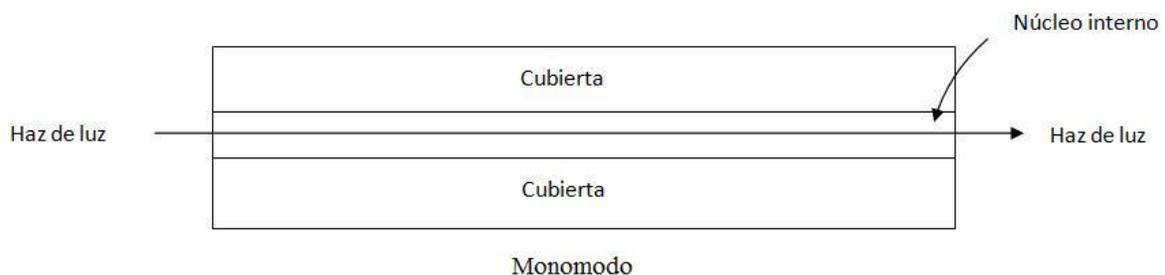


Figura 8 Fibra monomodo

Monomodo:

- Requiere un recorrido muy directo.
- Núcleo pequeño.
- Menor dispersión.
- Apropiado para aplicaciones de larga distancia.
- Usa láseres como fuente de luz a menudo en backbone de campus para distancias de varios miles de metros.

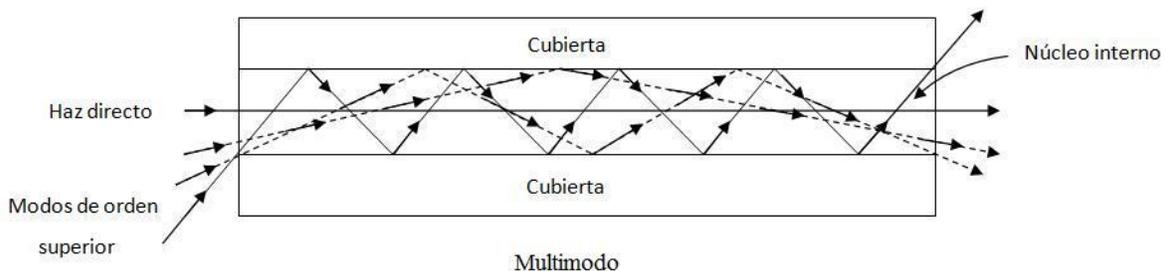


Figura 9 Fibra multimodo

Multimodo:

- Requiere varios recorridos.
- Núcleo mayor que el cable monomodo.
- Permite mayor dispersión y, por lo tanto, pérdida de señal.
- Se usa para aplicaciones de larga distancia, pero menor distancia que el monomodo.
- Usa **LED** como fuente de luz, a menudo dentro de las LAN o para distancias de aproximadamente 200 m. dentro de una red de campus.

El perfil de índice, de una fibra óptica, es una representación grafica del valor del índice refractivo, a través de la fibra. El índice refractivo está indicado en el eje horizontal y la distancia radial del eje del núcleo se grafica en el eje vertical.

Hay dos tipos básicos de perfiles de índice: escalón y graduado. Una fibra de índice de escalón tiene un núcleo central, con un índice refractivo uniforme. El núcleo está rodeado por una cubierta exterior con un índice refractivo uniforme, menor al del núcleo central. En una fibra de índice graduado no hay cubierta, y el índice refractivo del núcleo no es uniforme; está más alto en el centro y disminuye gradualmente con la distancia hacia el borde externo **[Haykin]**.

La apertura numérica (NA), es una figura de mérito que se usa para describir la unión de la luz o habilidad de recoger la luz de una fibra óptica. Entre más grande la magnitud de una NA, mayor es la cantidad de luz aceptada por la fibra de la fuente de la luz externa. Para una fibra índice de escalón, una apertura numérica se define matemáticamente como el seno del medio ángulo de aceptación. Por lo tanto **[Agrawal]**:

$$NA = \text{sen}\theta_{\text{entrada}}$$

y

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Además,

$$\text{sen}^{-1}NA = \theta_{\text{entrada}}$$

Para un índice graduado, NA es simplemente el seno del ángulo crítico:

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

En las telecomunicaciones se utiliza el decibelio como unidad de medida para la potencia de una señal. La pérdida o ganancia de un dispositivo está dada en decibelios (dB).

La atenuación de una fibra óptica se mide en dB/m y es directamente proporcional a la longitud de la fibra, es decir entre más larga la trayectoria de fibra, mayor atenuación.

Las pérdidas de transmisión en los cables de fibra óptica son una de las características más importantes de la fibra. Las pérdidas en la fibra resultan en una reducción de la potencia de la luz, por lo tanto, reducen el ancho de banda del sistema, la velocidad de transmisión de información, eficiencia, y capacidad total del sistema. Las pérdidas de fibra predominantes son las siguientes:

1. Pérdidas por absorción: La pérdida por absorción en las fibras ópticas es analógica a la disipación de potencia en los cables de cobre, las impurezas, en la fibra absorben la luz y la convierten en calor. El vidrio ultrapuro usado para fabricar las fibras ópticas es aproximadamente 99.9999% puro. Aun así, las pérdidas por absorción entre 1 y 1000 dB/km son típicas.
2. Pérdidas por dispersión de Rayleigh o materiales: Durante el proceso de fabricación, el vidrio es producido en fibras largas, de un diámetro muy pequeño. Durante este proceso, el vidrio está en un estado plástico (no líquido y no sólido). La tensión aplicada al vidrio durante, este proceso, causa que el vidrio se enfríe y desarrolle irregularidades submicroscópicas que se forman, de manera permanente, en la fibra. Cuando los rayos de luz que se están propagando por una fibra chocan contra una de estas impurezas, se difractan.
3. Dispersión cromática o de longitud de onda: El índice refractivo del material es dependiente de la longitud de onda. Los diodos emisores de luz (LED) emiten luz que contiene una combinación de longitudes de onda. Cada longitud de onda, dentro de una señal de luz compuesta, viaja a una velocidad diferente. En consecuencia, los rayos de luz que simultáneamente se emiten de un LED y se propagan por una fibra óptica no llegan, al extremo lejano de la fibra, al mismo tiempo. Esto resulta en una señal de recepción distorsionada; la distorsión se llama, distorsión cromática.
4. Pérdidas de radiación: Las pérdidas de radiación son causadas por pequeños dobleces e irregularidades en la fibra. Básicamente, hay dos tipos de dobleces, microdobleces y dobleces de radio constante.
5. Dispersión modal: La dispersión modal o esparcimiento del pulso, es causada por la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz que toman diferentes trayectorias por una fibra.
6. Pérdidas por acoplamiento: En los cables de fibra, las pérdidas de acoplamiento pueden ocurrir en cualquiera de los tres tipos de uniones ópticas: conexiones de fuente a fibra, conexiones de fibra a fibra y conexiones de fibra a fotodetector. Las pérdidas de unión son causadas más frecuentemente por uno de los siguientes problemas de alineación:

mala alineación lateral, mala alineación de separación, mala alineación angular y acabados de superficie imperfectos.

2.5 Fuentes de luz.

Básicamente, hay dos dispositivos, usados comúnmente, para generar luz, para sistemas de comunicación de fibra óptica; diodos emisores de luz (LED) y diodos de inyección láser (ILD). Ambos dispositivos tienen ventajas y desventajas y la selección de un dispositivo sobre otro se determina por los requerimientos económicos y rendimiento del sistema [Tomassi].

Diodos emisores de luz: Esencialmente, un diodo emisor de luz (LED) simplemente es un diodo de unión P-N. Normalmente está hecho de un material semiconductor tal como de aluminio-galioarsenuro (AlGaAs) o galio-arsenuro-fosfuro (GaAsP). Los LED emiten luz por emisión espontánea; la luz se emite como resultado de la recombinación de electrones y huecos. Cuando se polariza directamente, los portadores minoritarios son inyectados a través de la unión p-n. Una vez a través de la unión, estos portadores minoritarios se recombinan con los portadores mayoritarios y ceden energía en forma de luz. Este proceso esencialmente es igual que en el diodo convencional, excepto que en los LED ciertos materiales semiconductores y dopadores son elegidos de tal manera que el proceso es radiactivo; se produce un fotón. Un fotón es un **quantum** de energía de onda electromagnética. Los fotones son partículas que viajan a la velocidad de la luz, pero en reposo no tienen masa.

Diodo de inyección láser: La palabra láser es un acrónimo para la amplificación de luz por emisión estimulada de radiación. Los láseres están contruidos de muchos materiales diferentes, incluyendo gases, líquidos y sólidos, aunque el tipo de láser usado, más frecuentemente para las comunicaciones de fibra óptica es el láser semiconductor [FreemanTele].

2.6 Sistema de comunicación de fibra óptica.

Un enlace de comunicaciones de fibra óptica consta de tres bloques principales: el transmisor, el receptor y la guía de fibra. En la **Figura 10** el transmisor consiste de una interfaz analógica o digital, un convertidor de voltaje a corriente, una fuente de luz y un adaptador de luz de fuente a fibra. La guía de fibra es un vidrio ultrapuro o un cable de plástico. El receptor incluye un dispositivo conector detector de fibra a luz, un fotodetector, un convertidor de corriente a voltaje, un amplificador y una interfaz analógica o digital [Tomassi].

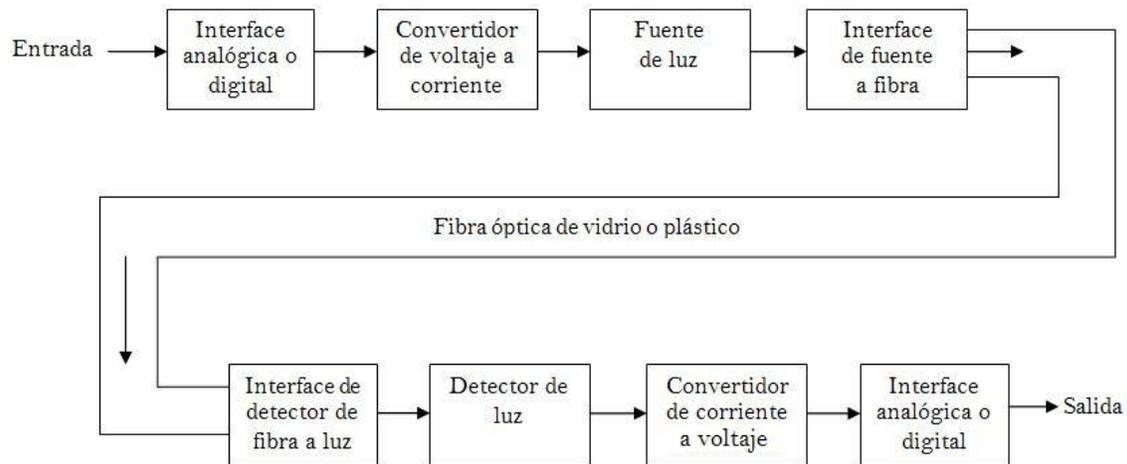


Figura 10 Sistema de comunicaciones de fibra óptica

En un transmisor de fibra óptica, la fuente de luz se puede modular por una señal digital o analógica. Para la modulación analógica, la interface de entrada acopla las impedancias y limita la amplitud de la señal de entrada. Para la modulación digital, la fuente original puede ya estar en forma digital o, si está en la forma analógica, se debe convertir a un flujo de pulsos digitales. Para el último de los casos, un convertidor analógico a digital se debe incluir en la interface.

El convertidor de voltaje a corriente sirve como una interface eléctrica, entre los circuitos de entrada y la fuente de luz. La fuente de luz es un diodo emisor de luz (LED) o un diodo de inyección de láser (ILD). La cantidad de luz emitida por un LED o un ILD es proporcional a la cantidad de la corriente de excitación. Por lo tanto, el convertidor de voltaje a corriente convierte un voltaje de señal de entrada a una corriente que se usa para dirigir la fuente de luz.

El detector de luz frecuentemente es un diodo PIN (p-tipo-intrínseco-n-tipo) o un **APD** (fotodiodo de avalancha). Ambos, el diodo APD y PIN, convierten la energía de luz a corriente. En consecuencia, se requiere un convertidor de corriente a voltaje. El convertidor de corriente a voltaje transforma los cambios en la corriente del detector a cambios en el voltaje de la señal de salida.

La interfaz analógica o digital a la salida del receptor, también es una interface eléctrica. Si se usa la modulación analógica, la interface acopla las impedancias y niveles de señal a la circuitería de salida. Si se usa la modulación digital, la interface debe incluir un convertidor digital a analógico.

En la actualidad los sistemas de comunicación que utilizan la fibra óptica como medio de comunicación han adoptado un revolucionario sistema de transmisión como estándar internacional.

La Jerarquía Digital Síncrona (Synchronous Digital Hierarchy, **SDH**) por sus siglas en inglés, se desarrolló en Estados Unidos, bajo el nombre de SONET o ANSI T1X1 y posteriormente en CCITT (Hoy UIT-T) en 1989 publicó una serie de recomendaciones donde quedaba definida con el nombre de SDH [**FreemanTele**].

2.7 Ventajas y Desventajas de la fibra óptica.

Las comunicaciones, a través de cable de fibra de vidrio o plástico, tienen varias ventajas abrumadoras sobre las comunicaciones que usan facilidades de cable metálico o coaxial convencional [**SisTeFO**].

Ventajas:

1. Los sistemas de fibra tienen una mayor capacidad debido a los anchos de banda inherentemente más grandes y disponibles con las frecuencias ópticas. Los cables metálicos exhiben en el medio capacitancia e inductancia a lo largo de sus conductores. Estas propiedades causan que actúen como filtros pasa-bajas que limitan sus frecuencias de transmisión y los anchos de banda.
2. Los sistemas de fibra son inmunes a transmisiones cruzadas, causadas por una inducción magnética. Las fibras de vidrio o plástico no son conductores de electricidad y, por lo tanto, no tienen un campo magnético asociado con ellos.
3. Los cables de fibra son inmunes a la interferencia estática causada por relámpagos, motores eléctricos, luces fluorescentes y otras fuentes de ruido eléctrico. Esta inmunidad, también se atribuye al hecho de que las fibras ópticas no son portadoras de electricidad. Además, los cables de fibra no radian energía de RF y, por tanto, no pueden causar interferencia con otros sistemas de comunicación. Esta característica hace que los sistemas de fibra estén idealmente equipados para las aplicaciones militares, en donde los efectos de las armas nucleares (EMP-interferencia de pulsos electromagnéticos) tienen un efecto devastador sobre los sistemas de comunicación convencionales.
4. Los cables de fibra son más resistentes a los extremos ambientales. Funcionan sobre una variación más grande de temperatura que sus contrapartes metálicas, los cables de fibra son menos afectados por los líquidos corrosivos y gases.
5. Los cables de fibra son más seguros y fáciles de instalar y mantener. Debido a que las fibras de vidrio y plástico no son conductores, no hay corrientes eléctricas o voltajes asociados con ellas. Las fibras se pueden

usar cerca de líquidos y gases volátiles, sin preocuparse que ocasionen explosiones o fuegos. Las fibras son más pequeñas y más ligeras que sus contrapartes metálicas. En consecuencia, es más fácil trabajar con ellas. Además, los cables de fibra requieren menos espacio de almacenamiento y son más baratos de transportar.

6. Los cables de fibra son más seguros que sus contrapartes de cobre. Es casi imposible interceptar un cable de fibra, sin que el usuario se entere de esto. Esta es otra cualidad atractiva para las aplicaciones militares.
7. Aunque aún no ha sido comprobado, se proyecta que los sistemas de fibra duraran más que las facilidades metálicas. Esta presunción se basa en las altas tolerancias que los cables de fibra tienen a los cambios en el ambiente.
8. El costo a largo plazo de un sistema de fibra óptica se proyecta que será menor que el de su contraparte metálico.

Desventajas:

Actualmente, hay muy pocas desventajas de los sistemas de fibra. Una desventaja importante es el alto costo inicial de instalar un sistema de fibra, aunque en el futuro se cree que el costo de instalar un sistema de fibra se reducirá dramáticamente. Otra desventaja de los sistemas de fibra es el hecho de que no están probados; no hay sistemas que hayan estado en operación por un largo periodo de tiempo. El mantenimiento y reparación de los sistemas de fibra, también es más difícil y costoso que los sistemas metálicos [Agrawal].

2.8 Identificación del proceso.

Los sistemas de comunicación vía fibra óptica emplean las tecnologías de transporte **PDH** y **SDH**, como estándares internacionales de comunicación.

Las tecnologías de transporte PDH y SDH se encuentran contenidas en una serie de recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT, *ITU International Telecommunication Union*).

La UIT ha generado recomendaciones alrededor de los sistemas PDH y SDH, para así de esta forma homologar todos los dispositivos y sistemas de diferentes fabricantes, empresas o naciones que utilicen la fibra óptica como medio de transporte.

CAPÍTULO 3

Tecnologías de transporte PDH-SDH

- 3.1 Breve reseña de los sistemas de transmisión.**
- 3.2 Modulación por Pulsos Codificados PCM.**
- 3.3 Jerarquías digitales PDH.**
- 3.4 Breve reseña del sistema SDH.**
- 3.5 Principales características del sistema SDH.**
- 3.6 Ventajas del sistema SDH sobre PDH.**
- 3.7 Estructura de la trama síncrona STM1.**
- 3.8 La estructura de multiplexión SDH.**
- 3.9 Elementos de un sistema de transmisión síncrona.**

Capítulo 3: Tecnologías de transporte PDH-SDH.

Esencialmente las tecnologías de transporte PDH y SDH son unos protocolos de comunicación.

3.1 Breve reseña de los sistemas de transmisión.

El mundo de las redes telefónicas como lo concebimos en la actualidad ha emergido como un mecanismo para transportar conversaciones de voz entre aparatos telefónicos. Hasta la época de los 70's esto se logró llevándose señales analógicas sobre pares de hilos de cobre, mediante la técnica de Multiplexaje por División de Frecuencia (**FDM**) usada en rutas de larga distancia para combinar señales sobre cable coaxial. Tal equipo de transmisión era caro con relación al costo del conmutador telefónico, de esta forma la comunicación se veía como un medio para relacionar un recurso con respecto al ancho de banda de transmisión.

A principios de los 70's comenzaron a aparecer los sistemas de transmisión digital, utilizando un método conocido como Modulación por Codificación de Pulsos (**PCM**).

PCM permite que formas de onda analógicas tales como la voz humana sean representadas en forma binaria como lo ilustra la **Figura 11**, por lo que usando este método fue posible representar una señal telefónica analógica estándar a 4 kHz como una trama digital de 64 kbit/s [**TecSDH-PDH**].

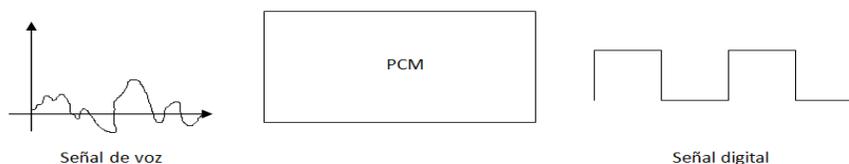


Figura 11 Modulación por codificación de pulsos

La técnica PCM se emplea para digitalizar la voz, representando las muestras instantáneas de la misma mediante palabras digitales que forman un tren de pulsos en serie.

3.2 Modulación por Pulsos Codificados PCM.

En los sistemas de transmisión analógicos, la señal moduladora hace variar la amplitud (AM), la fase (PM) o la frecuencia (FM) de un tren de ondas sinusoidales.

En los sistemas de transmisión digitales, la señal moduladora puede variar la amplitud de un tren de impulsos (**PAM**, Pulse Amplitude Modulation), la posición de los impulsos (**PPM**, Pulse Position Modulation) o la duración de los impulsos (**PDM**, Pulse Duration Modulation)

El método que se usa habitualmente es el PAM, que representa el primer paso de las operaciones necesarias para transformar la señal analógica en digital.

El método PCM lo conforman:

- 1) Muestreo
- 2) Cuantificación
- 3) Codificación.

Por muestro de una señal se entiende la extracción de algunos de sus valores instantáneos de duración teóricamente nula.

Se sabe que una señal periódica se puede descomponer en una señal con una frecuencia fundamental, más un número "N" de armónicos, como se deduce del desarrollo en serie de Fourier.

Como consecuencia, una señal vocal está formada por un cierto número de señales sinusoidales fundamentales, correspondientes a todas las frecuencias contenidas en la señal vocal, junto con todos sus armónicos.

Si se limita con un filtro las frecuencias contenidas en una señal vocal a un valor máximo de 4 kHz, se puede afirmar que ahora nuestra señal puede contener armónicos de frecuencia máxima igual a 4 kHz.

De acuerdo a la teoría de Shannon, para muestrear de forma correcta una señal, es decir, que se pueda reconstruir la señal original, es necesario que el muestreo se realice un número de veces al menos igual al doble de la frecuencia máxima, es decir, de los armónicos de mayor frecuencia de la señal a muestrear.

Como se estableció anteriormente, nuestra señal de la voz humana tiene una frecuencia máxima de 4kHz, se deben extraer (4 kHz x 2) 8000 muestras por segundo, por lo que la frecuencia de muestreo deberá ser de 8 kHz.

Las muestras así extraídas se podrían ya transmitir, realizando así un sistema de transmisión con modulación de amplitud de los impulso. Sin embargo,

un sistema de este tipo es sensible a los ruidos que se pueden superponer a los impulsos (variando su amplitud) durante la transmisión, y por tanto se prefiere codificar las muestras mediante presencia o ausencia de grupos de otros impulsos (todos con la misma amplitud); cada uno de esos grupos representa la amplitud de una muestra.

Puesto que cada muestra puede tener infinitas amplitudes diferentes, resultaría prácticamente imposible codificar cada una de ellas, por lo que se establece una escala de valores fijos y se atribuye a la amplitud de cada muestra el valor más próximo a ella.

En el siguiente ejemplo de la **Figura 12** se cuenta con dos niveles de decisión, subdivididos en positivos y negativos, que se codifican con 4 bits, (1 para el signo y 3 para la amplitud), resultando que la muestra que se ha tomado en el instante "t1" se encuentra en el escalón 5.

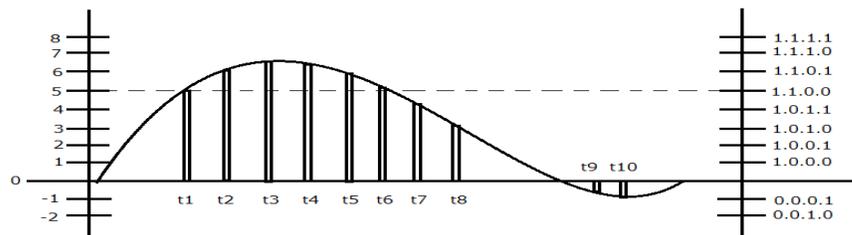


Figura 12 Codificación con 4 bits

Como consecuencia de la muestra "t1" contenida en el nivel 5, le corresponderá la codificación binaria 1.1.0.0, la **Figura 13** muestra la secuencia de impulsos resultante.



Figura 13 Secuencia de impulsos

Los sistemas PCM actuales adoptan 256 niveles, para cuya representación son necesarios 8 impulsos (1 byte).

Como se vio anteriormente la señal analógica se muestrea a 8000 muestras por segundo, lo que significa que entre una muestra y la siguiente se dispone de un intervalo de 125 mseg ($T = \frac{1}{f} = \frac{1}{8000} = 125\mu\text{seg}$).

La señal digital se obtiene mediante el muestreo periódico de 8000 veces por segundo, codificando cada muestra en palabras de 8 bits, lo que hace que el canal básico resulte en 64 kbps ($8000(\text{muestras/segundo}) \times 8 \text{ bits} = 64\,000 \text{ bits/s}$)

La codificación consiste en la traducción de los valores de tensión eléctrica analógicos que ya han sido cuantificados al sistema binario, mediante códigos preestablecidos. La señal analógica va a quedar transformada en un tren de impulsos digitales (sucesión de ceros y unos).

Para codificar la señal existen diversos códigos, como lo son: **NRZ** (No Return to Zero), **RZ** (Return to Zero), **AMI** (Alternate Mark Inversion), **HDB3** (High Density Bipolar 3) y **B8ZS** (Bipolar 8-Zero Substitution), algunos códigos más efectivos y con menor probabilidad de error o **jitter**.

El jitter o fluctuación de fase, son variaciones en el tiempo no acumulativas de corta duración de los instantes de tiempo de la señal digital a partir de su posición ideal en el tiempo.

El jitter es el principal problema de los regeneradores, es una variación incontrolada de instantes en que ocurren los cambios de nivel, esto es ocasionado por deficiencias en la sincronía de fase del reloj.

En una señal digital, el jitter es algo así como el ruido en una señal analógica [**TecSDH-PDH**].

3.3 Jerarquías digitales PDH.

El método usado para combinar canales múltiples de 64 kbps dentro de una trama de alta velocidad es conocido como Multiplexaje por División de Tiempo (**TDM**). En forma más sencilla, la **Figura 14** muestra como un byte proveniente de cada canal, es transmitido a su vez en el canal de alta velocidad saliente.

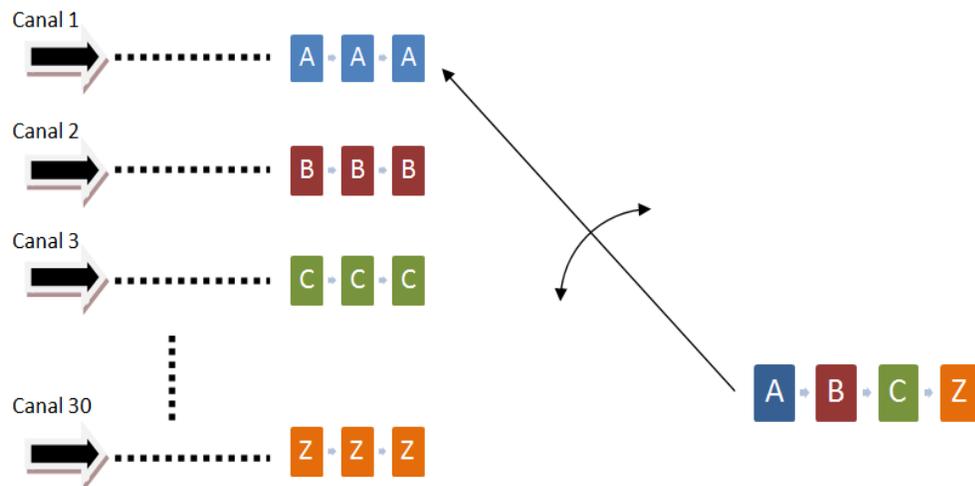


Figura 14 Multiplexaje por división de tiempo (TDM)

En Europa y subsecuentemente en muchas otras partes del mundo, se adoptó un esquema estándar TDM donde se combinan 30 canales de 64 kbps junto con 2 canales adicionales que llevan información de control para proporcionar un canal con una velocidad de 2.048 Mbps ($64\ 000\ \text{bits/s} \times 32 = 2048000\ \text{bit/s}$).

Como se incrementó la demanda de voz y los niveles de tráfico de la red se volvieron más altos, el estándar de la señal de 2 Mbps no fue suficiente para soportar las cargas que ocurrían en la troncal de la red. A manera de evitar tener que usar un gran número de enlaces a 2 Mbps, se decidió crear un nivel más de multiplexaje. El estándar que se adoptó en Europa involucró la combinación de 4 canales de 2 Mbps para proporcionar un canal de 8Mbps. Como la necesidad se elevó, se adicionaron más niveles de multiplexaje al estándar, a 34 Mbps, 140 Mbps y 565 Mbps para proporcionar una jerarquía completa de velocidades.

Mientras la jerarquía de transmisión Europea se desarrollaba, un trabajo similar para desarrollar su propia jerarquía ocurría en Norte América. Mientras se usaban los mismos principios la jerarquía difería ligeramente en cuanto a que las velocidades eran más bajas como, 1.5 Mbps, 6 Mbps y 45 Mbps. Estas diferencias hicieron que la interconectividad entre las 2 jerarquías fuera costosa de lograr. Incluso en Japón se adoptó una tercera jerarquía a partir de la Americana, la **Figura 15** muestra los niveles de estas jerarquías.

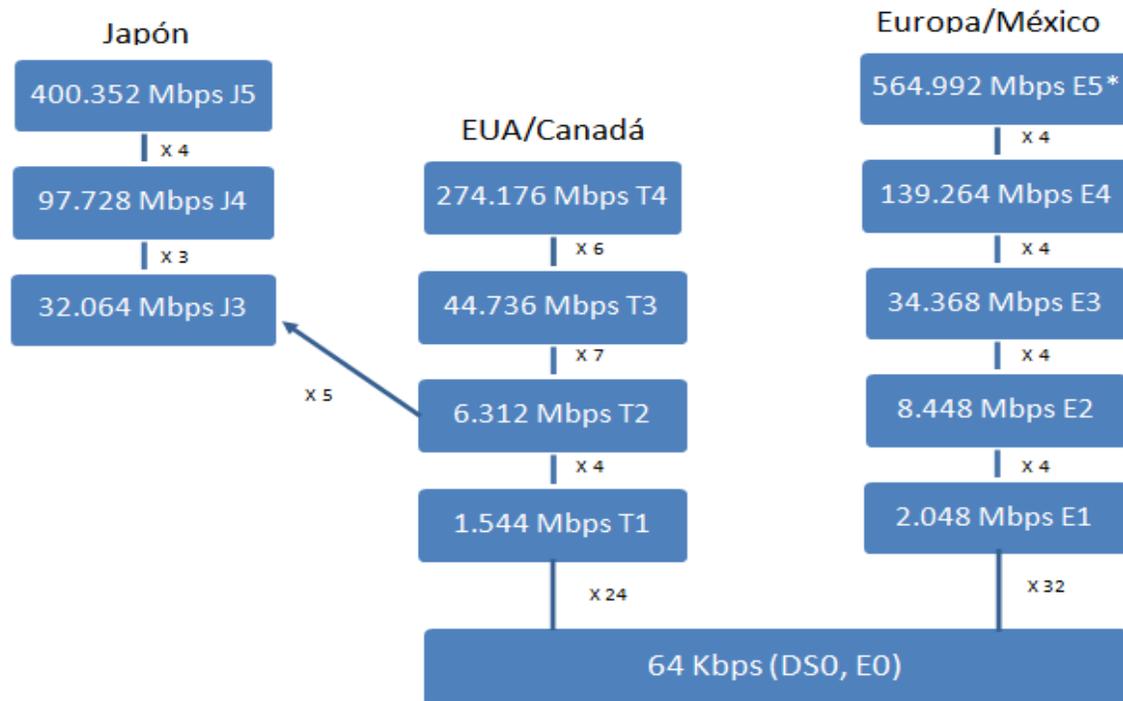


Figura 15 Niveles de las jerarquías digitales PDH

En México se adoptó los niveles de jerarquía que se utilizan en Europa, el E5 se utilizó en algunos cuantos sistemas y lugares, pero nunca se convirtió en un nivel de forma oficial.

Transcurrió un largo tiempo para que se tuviera esta jerarquía completa de velocidades, el nivel de 2 Mbps se estableció en el año de 1966 y fue hasta el año de 1970 cuando se decidió que ya no era suficiente y se necesitaba otro nivel, la UIT estandarizó una jerarquía más de 8 Mbps, 34 Mbps en 1973, 140 Mbps en 1980 y 565 Mbps en 1985.

Las tasas de velocidades de Bit de Jerarquía Digital se encuentran contenidas en el estándar G.702 de la UIT.

3.4 Breve reseña del sistema SDH.

SDH (siglas tomadas del término en inglés: *Synchronous Digital Hierarchy*, que quiere decir: **Jerarquía Digital Sincrónica**), es el estándar internacional de comunicaciones aceptado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), para redes de transmisión de alta capacidad.

Tecnologías como **ATM**, IP/MPLS o **ADSL** se apoyan en SDH para alcanzar la ansiada banda ancha. SDH y el equivalente norteamericano SONET, son las tecnologías dominantes en la capa física de transporte de las actuales redes de fibra óptica de banda ancha. Su misión es transportar y gestionar gran cantidad de tipos de tráfico diferentes sobre la infraestructura física.

Esencialmente, SDH es un protocolo de transporte (primera capa del modelo **OSI**) basado en la existencia de una referencia temporal común (Reloj primario), que multiplexa diferentes señales dentro de una jerarquía común flexible, y gestiona su transmisión de forma eficiente a través de fibra óptica, con mecanismos internos de protección.

Usando como referencia el modelo OSI, SDH es comúnmente visto como un protocolo de nivel uno, es decir, un protocolo de la capa física de transporte. En este papel, actúa como el portador físico de aplicaciones de nivel 2 a 4, esto es, es el camino en el cual tráfico de superiores niveles tales como IP o ATM es transportado. En palabras simples, se considera a las transmisiones SDH como tuberías las cuales portan tráfico en forma de paquetes de información. Estos paquetes son de aplicaciones tales como PDH, ATM o IP.

SDH permite el transporte de muchos tipos de tráfico tales como voz, video, multimedia, y paquetes de datos como los que genera IP. Para ello, su papel es, esencialmente, el mismo: gestionar la utilización de la infraestructura de fibra. Esto significa gestionar el ancho de banda eficientemente mientras porta varios tipos de tráfico, detectar fallos y recuperar de ellos la transmisión de forma transparente para las capas superiores **[TecSDH-PDH]**.

3.5 Principales características del sistema SDH.

Las principales características que encontramos en cualquier sistema de red de transporte SDH son las siguientes:

- Multiplexión digital: Permite que las señales de comunicaciones analógicas sean portadas en formato digital sobre la red. El tráfico digital puede ser portado mucho más eficientemente y permite monitorización de errores, para propósitos de calidad.
- Fibra óptica: Éste es el medio físico comúnmente desplegado en las redes de transporte actuales. Tiene una mucho mayor capacidad de portar tráfico que los coaxiales o los pares de cobre, lo que conduce a una disminución de los costos asociados al transporte de tráfico.
- Esquemas de protección: Éstos han sido estandarizados para asegurar la disponibilidad del tráfico. Si ocurriera una falla o una rotura de fibra, el tráfico podría ser conmutado a una ruta alternativa, de modo que el usuario final no sufriera interrupción alguna en el servicio.
- Topologías en anillo: Éstas están siendo desplegadas cada vez en mayor número. Esto es porque, si un enlace se perdiera, hay un camino de tráfico alternativo por el otro lado del anillo. Los operadores pueden minimizar el número de enlaces y fibra óptica desplegada en la red. Esto es muy importante ya que el costo de colocar nuevos cables de fibra óptica sobre el terreno es muy caro.
- Gestión de red: La gestión de estas redes desde un único lugar remoto es una prestación importante para los operadores. Se ha desarrollado software que permite gestionar todos los nodos y caminos de tráfico desde una única computadora. Un operador puede ahora gestionar una variedad grande de funciones tales como el provisionamiento de capacidad en respuesta a la demanda de clientes y la monitorización de la calidad de una red.
- Sincronización: Operadores de red deben proporcionar temporización sincronizada a todos los elementos de la red para asegurarse que la información que pasa de un nodo a otro no se pierda.

3.6 Ventajas del sistema SDH sobre el PDH.

El estándar síncrono presenta una serie de ventajas que lo hacen óptimo con respecto al anterior estándar plesiócrono:

- Operaciones de multiplexión y demultiplexión más sencillas y flexibles, permitiendo extraer e insertar circuitos sin tener que desmontar la señal.
- Fácil de migrar hacia órdenes superiores de multiplexación, ya que emplean la misma filosofía de trabajo.
- Las cabeceras permiten mejorar los procedimientos de operación, administración y mantenimiento de la red.
- Pueden transportar señales PDH G.702, ATM, etc.
- Cuenta con mecanismos integrados de protección.
- Define un interfaz óptico abierto para permitir la interconexión con otros equipos.

3.7 Estructura de la trama síncrona STM1.

La información es empaquetada en un módulo de transporte síncrono de modo que este pueda ser transportado y gestionado a través de la red.

Un contenedor es el elemento básico de una señal SDH. Éste está formado por los bits de información de una señal PDH la cual será empaquetada dentro del contenedor. Existen diferentes tipos de contenedores, cada uno de los cuales corresponde con una señal PDH de diferente tasa de transmisión.

La Cabecera de Ruta (**Path Overhead**): Cada contenedor tiene algún tipo de control sobre la información asociada a él. Esta información es generada en el nodo originario de la ruta y es terminada en el nodo final del camino. Esta información permite al operador etiquetar el tráfico así como trazar la señal a través de la red (envío de trazas) e identificarla para propósitos de protecciones y monitorización de cuentas de errores.

El Contenedor Virtual se refiere al conjunto de un contenedor y a su cabecera de ruta asociada. Volviendo a la analogía con una tubería, el contenedor virtual puede ser visto como el paquete de tráfico PDH el cual es portado a través de la tubería SDH.

Hay diferentes tipos de contenedores virtuales (**VC**). Un VC-12 es construido de un contenedor C-12, el cual contiene una señal PDH de 2 Mbps. Un VC-3 porta un contenedor C-3 que contiene una señal PDH de 34 Mbps y un VC-4 porta una señal PDH de 140 Mbps en un contenedor C-4. Un contenedor virtual puede contener otros contenedores virtuales, proceso que se denomina como

anidamiento. Por ejemplo un VC-4 puede ser conformado con 63 VC-12's. Esto simplifica el transporte y gestión de estas señales a través de la red.

El módulo de transporte síncrono: Una señal es introducida en un contenedor virtual, éste es portado sobre la red junto a algunos otros contenedores ubicados en un módulo de transporte síncrono o STM (Synchronous Transport Module).

El contenedor virtual está ubicado en el área de carga útil del STM (Payload Area). Volviendo atrás en la analogía inicial, los STM's pueden ser vistos como tuberías con las cuales se confecciona la red y el contenedor virtual como los paquetes que son portados a través de las tuberías.

La unidad básica de SDH es la estructura STM-1. Cuatro marcos STM-1 con concatenados o multiplexados para dar un STM-4 el cual tiene una mayor tasa de transmisión. STM-16 y STM-64 ofrecen mayores tasas de transmisión y soportan un mayor número de señales en su área de carga útil. Así, los STM-4, STM-16 y STM-64 pueden ser vistos como tuberías más gruesas.

La Cabecera de Sección (Section Overhead): Los bytes de información son añadidos a la estructura STM provisionando un canal de comunicación entre nodos adyacentes habilitando el control de la transmisión sobre el enlace. Esto permite a los dos nodos "hablar" con el otro cuando aparece un evento de fallo en la sección, como por ejemplo, cuando ocurre una conmutación de protección.

Un camino o ruta es el término usado para referirnos a un circuito punto a punto para el tráfico, es decir, ésta es la trayectoria seguida por un contenedor virtual a través de la red. Una sección es definida como el enlace de transporte entre dos nodos adyacentes. Un camino está compuesto por un número concreto de secciones.

Volviendo a la analogía inicial de una tubería, la sección puede ser vista como la longitud de una tubería entre dos nodos de red y el camino como la ruta que toma los contenedores virtuales sobre esas secciones de tuberías.

El tráfico de los usuarios finales será transportado en contenedores virtuales por un determinado camino, sobre varias secciones. (Esto es una definición simplista e introductoria. De hecho, caminos y secciones son diferentes capas de la red de transporte).

Un STM está dedicado a una única sección, de ahí que la cabecera de sección sea procesada en cada nodo y un nuevo STM con nuevas cabeceras es construido para la siguiente sección. El contenedor virtual, por el contrario, sigue un camino sobre diversas secciones, de modo que la cabecera de camino permanece con el contenedor de extremo a extremo del camino.

Recapitulando lo dicho hasta ahorita, la información entrará en la red SDH como un flujo digital de información. La información de estas señales es mapeada en un contenedor, y cada contenedor, por lo tanto, tiene algo de información de control añadida, conocida como cabecera de camino. La combinación de estas señales y la cabecera es conocida como contenedor virtual. Los contenedores virtuales forman el área de carga útil del módulo de transporte síncrono (STM) el cual también tiene información de control llamada cabecera de sección.

La información entra en la red como flujos digitales de 2 Mbps que serán acomodados en contenedores virtuales VC-12. Un elemento de red SDH multiplexará esta señal junto con otras señales de tributario en una señal agregada de mayor tasa de transmisión.

En el ejemplo, esto es una señal STM-1 de 155.52 Mbps. Esto es en la red local SDH. Esta señal puede entonces ser de nuevo multiplexada para dar una señal STM-4 a 622.08 Mbps en el siguiente nivel, una vez más y resultará una señal STM-16 a 2488.32, llegando a alcanzar el STM-64 cuando son portadas a 9953.28 Mbps.

En este flujo de mayor tasa de transmisión son transportadas muchas señales en una única fibra, en lo que es conocido como red troncal o backbone de la red y transportará la información a un determinado punto geográfico.

La señal de 2 Mbps puede ser extraída y entregada en su destino o si su destino es un equipo terminal, la señal agregada es demultiplexada descendiendo hasta la señal de 2 Mbps. La estructura de multiplexión SDH define el camino estándar para mapear las señales contenidas en un STM, cuya unidad básica es una estructura STM-1 (155 Mbps). El valor de otras tasas de transmisión básicas es definido mediante el uso de un factor de multiplicación de cuatro. Estos son los 622 Mbps conocido como STM-4, 2.5 Gbps conocidos como STM-16 y los 10 Gbps o STM-64, como se aprecian los niveles en la **Figura 16**.

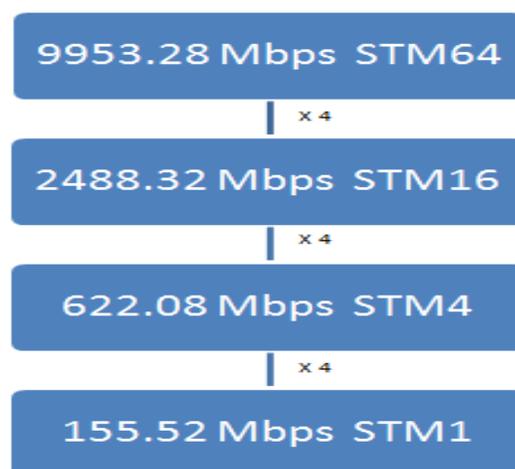


Figura 16 Niveles de la jerarquía SDH

Al igual que en PDH, la jerarquía completa de SDH se formó después de un largo tiempo, el primer nivel de 155 Mbps se estableció por la UIT en 1992, en ese mismo año el de 622 Mbps, 2488 Mbps en 1994 y 9953 Mbps en 1999.

¿Para qué incrementar la tasa de transmisión de STM-1 a STM-16 o STM-64? Transportar información de un punto a otro requiere una fibra óptica ubicada de un lugar al otro. Esta instalación es costosa, así que se limita el número de fibras instaladas, intentando portar en una fibra tanta información como fuera posible, y esto es posible, mediante el transporte de una tasa de transmisión mayor como es STM-64 [TecSDH-PDH].

3.8 La estructura de multiplexión SDH.

La estructura de multiplexión SDH define cómo la información es estructura para construir un marco STM-1. Este modo de mapeo de contenedores en una señal STM-N es definido por las recomendaciones de la ITU-T, hechas públicas desde 1989.

Los contenedores son empaquetados en STM's por elementos de red. Para que los elementos de red en el extremo contrario extraigan un contenedor virtual, éste debe conocer la localización exacta del contenedor virtual dentro del área de carga útil del STM. Un puntero denota esta ubicación. En una red síncrona todo el equipamiento está sincronizado mediante un reloj único para toda la red. La temporización de una señal pleosíncrona colocada dentro de un contenedor virtual puede variar en frecuencia o fase con respecto al reloj de red. Como resultado de esto, la localización de un contenedor virtual en una estructura STM puede no ser fija, por lo que el puntero asociado con cada contenedor virtual indica su posición dentro del área de carga útil del STM.

La estructura SDH: La señal STM-1 se aprecia en la **Figura 17**, el elemento básico del SDH, comprende 2430 bytes de información. Esto está distribuido en 270 columnas por 9 filas. Dentro de ellos están contenidos la carga útil del STM-1, los punteros y las cabeceras de sección.

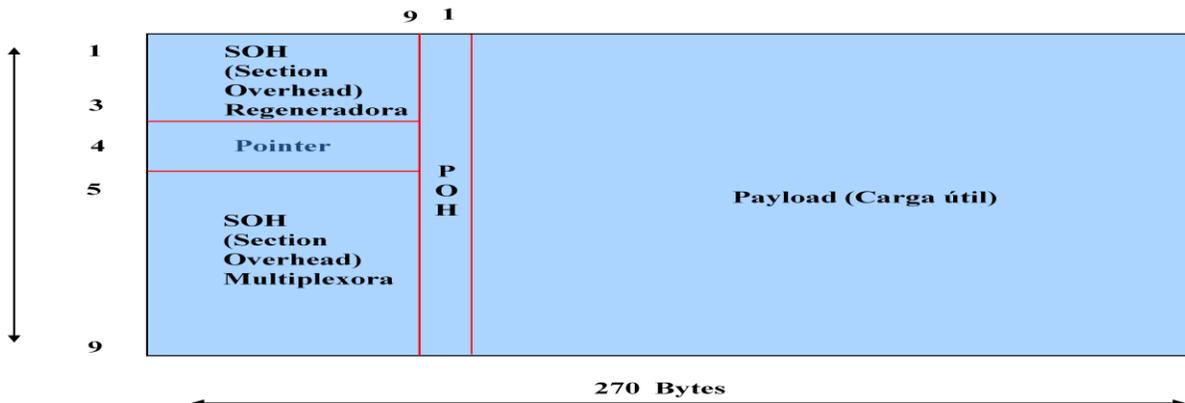


Figura 17 Estructura del STM1

Su duración es de 125µseg, se repite 8000 veces por segundo, su velocidad binaria será:

$$19440 \text{ bits} * 8000 = 155\,520\,000 \text{ bits/seg}$$

Resultando los 155.52 Mbps del STM1.

La construcción del área de carga STM es definida por la estructura mapeada SDH de la **Figura 18**. Las tasas de transmisión de los clientes son mapeadas en contenedores (C) y una cabecera de camino (POH) añadida para dar lugar a un contenedor virtual (VC). Estos formarán Unidades Tributarias (Tributary Units o **TU**) las cuales consisten en contenedores virtuales más el puntero.

La unidad tributaria es empaquetada en Grupos de Unidades Tributarias (Tributary Units Groups o **TUG's**) y finalmente en Grupos de Unidades Administrativas (Administrative Unit Groups o **AUG's**) de acuerdo a las reglas de estructura de multiplexión SDH. Resaltar que este empaquetado secuencial puede realizarse anidando pequeños contenedores virtuales junto con otros mayores [TecSDH-PDH].

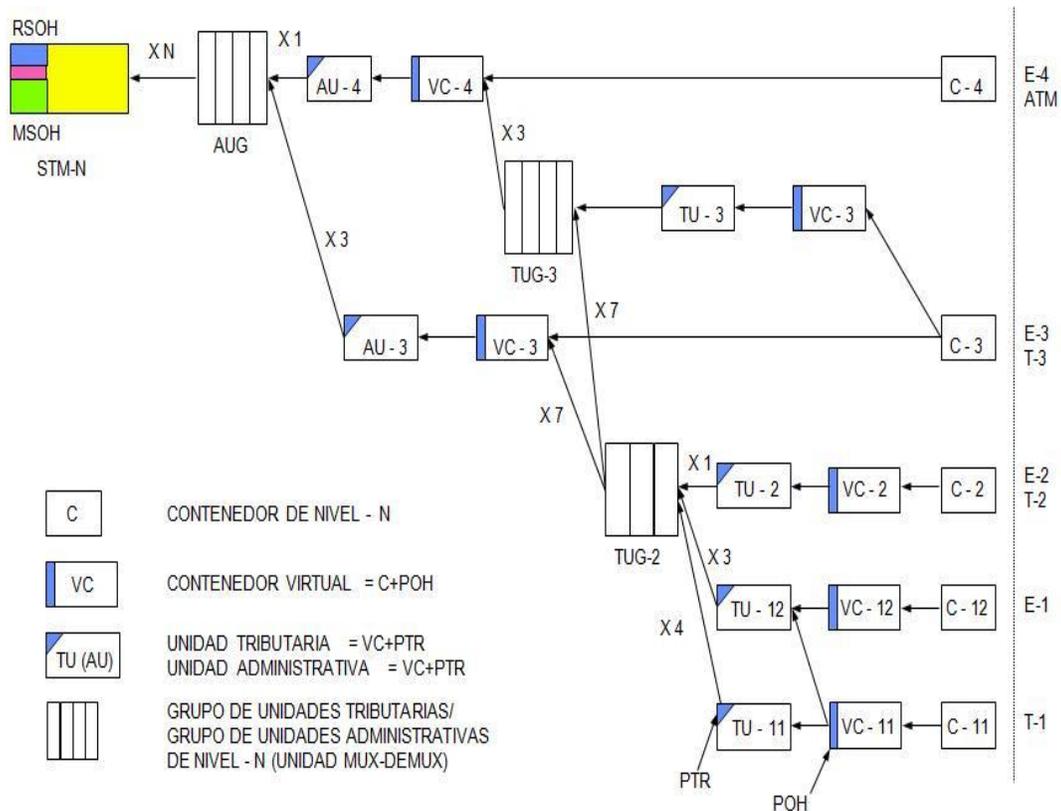


Figura 18 Mapeo de STM1

Las reglas SDH de multiplexión aseguran que la posición exacta de un contenedor virtual contenido en el área de carga útil puede ser identificado por cada nodo, esto tiene la ventaja de que cada nodo puede directamente acceder a un contenedor virtual de la carga útil sin necesitar desmontar y volver a construir la estructura de carga.

Siguiendo estas reglas de multiplexión, una señal STM-1 puede ser construida de diferentes modos. Los VC-4 que formarán la carga útil de la estructura STM pueden contener una señal PDH de 140 Mbps, tres señales PDH de 34 Mbps, sesenta y tres señales PDH de 2 Mbps o combinaciones de ellas, de modo que la capacidad total no sea excedida.

Cuando son necesarias tasas de transmisión mayores que STM-1, éstas son obtenidas usando un simple esquema de concatenación de bytes, alcanzando tasas de 622 Mbps (STM-4), 2.5 Gbps (STM-16) y 10 Gbps (STM-64).

La trama STM-1 está estructurada como 270 columnas (bytes) por 9 filas en las que las nueve primeras columnas de la estructura corresponden con la cabecera de sección, y las restantes 261 columnas son el área de payload.

Una trama STM-1 consta de 2430 bytes, los cuales pueden dividirse en tres áreas principales:

- Área de payload (2349 bytes).
- Área de puntero de Unidad Administrativa (9 bytes).
- Área de cabecera de sección (72 bytes).

El Área de Payload: Señales de todos los niveles de PDH pueden ser acomodadas en SDH empaquetándolas juntas en el área de payload de la trama STM-1. El proceso de empaquetado de señales PSH es un proceso multipaso que involucra un número de diferentes estructuras.

Los tributarios pleusíncronos están mapeados en un contenedor de tamaño apropiado, y un número de bytes conocido como cabecera de camino (Path Overhead o POH) es añadido al mismo para formar el contenedor virtual (VC) en el que se basa esta trama.

La cabecera de camino proporciona información para su uso en la gestión extremo a extremo de un camino síncrono. La información de la cabecera de camino asociado con un VC-1/VC-2 difiere a la recogida en la cabecera asociada a los VC-3/VC-4.

La cabecera de camino para los VC-1/VC-2 recoge los bytes V5, J2 y Z7. El byte V5 es el octeto posicionado al inicio del contenedor virtual. La función de varios de los bits de este byte se describe a continuación:

- BIP-2: Los bits 1 y 2 son usados para monitorizar errores usando bits de paridad concatenada (BIP) comprobando todos los bytes en el VC-1/VC-2 previo.
- REI: El bit 3 es el indicador remoto de error o REI del camino. Será puesto a 1 binario y enviado en dirección opuesta al recibido hacia el extremo original del VC-1/VC-2 si uno o más errores son detectados al chequear el BIP-2.
- RFI: El bit 4 es el indicador remoto de fallo o RFI y es puesto a 1 binario y enviado en dirección opuesta a la recibida por el ensamblador del VC-1/VC-2 si se detecta un fallo.
- Etiqueta de señal: Indica el tipo de carga del contenedor virtual. Estas codificaciones pueden ser “camino inequipado”, “mapeado asíncrono”, “mapeado de byte síncrono”, o camino equipado por ser definido.
- RDI: El bit 8 es el indicador de defecto remoto o RDI en el camino. Este bit es colocado a 1 binario y enviado atrás por el ensamblador de VC-1/VC-2.

La cabecera de camino para contenedores VC-4 está ubicada en la primera columna de las nueve filas por las 261 columnas de la estructura VC-4. Para los VC-3, la cabecera de camino está colocada en la primera columna de las nueve filas para la estructura de 85 columnas. La función de cada byte es la siguiente:

- J1: Traza de ruta: Este byte verifica la conexión del camino VC-3/VC4.
- B3: BIP-8 de ruta: Este byte proporciona monitorización de bits con error sobre la ruta, usando un código de paridad par BIP-8.
- C2: Etiqueta de señal: Este byte indica la composición de la carga VC-3/VC-4.
- G1: Estatus del camino: Este byte permite que el estatus de la señal recibida sea enviada de vuelta al extremo transmisor del camino desde el extremo receptor.
- F2, Z3: Canales de usuario: Este byte proporciona un canal de comunicación para el usuario.
- H4: Indicador de posición: Este byte proporciona un indicador de posición generalizado de payload y puede ser usado como un indicador de posición de multitrama para VC-2/VC-1.
- K3 (bits 1-4): APS: Estos bits son empleados para la conmutación automática de protección (APS) para la protección a nivel de camino de alto nivel.
- K3 (bits 5-8): Spare: Estos bits están reservados para uso futuro.
- Z5: Operador nacional: Este byte esta empleado para propósitos de gestión especifica así como mantenimiento de conexión tandem.

El puntero de Unidad Administrativa: Tras añadir la cabecera de camino al contenedor virtual, se le posiciona en una unidad tributaria (TU) o una unidad administrativa (**AU**) con un puntero indicando al comienzo del contenedor virtual

relativo al TU o al AU, según sea el caso. Los VC-1's y VC-2's son posicionados en TU mientras que los VC-4 son posicionados en un AU.

En Europa, los VC-3 son posicionados en TU-3 mientras que en SONET son posicionados en AU-3. Los AU's y los TU's son empaquetados en sus respectivos grupos; grupos de unidades tributarias (TUG's) para unidades tributarias y grupos de unidades administrativas para AU's. Los TUG's son multiplexados en contenedores virtuales de alto nivel. Los cuales, en su turno, son posicionados en AU's con un puntero indicando al inicio del contenedor virtual relativo al AU. Es el puntero AU el cual indica la posición del AU con relación a la trama STM-1 y forma parte del área de cabecera de sección de la trama.

El área de payload de la trama STM-1 contiene un VC-4 o tres VC-3 con la posición del primer byte siendo indicada por el respectivo puntero AU. El uso de punteros en la trama STM-1 significa que las señales pleusíncronas pueden ser acomodadas en el seno de la red síncrona sin necesidad de emplear buffers.

Esto es porque la señal puede ser empaquetada en un contenedor virtual e insertada en la trama en cierta posición de modo que el puntero indique esta posición. Usar el método de punteros es posible al definir los contenedores virtuales síncronos ligeramente mayores que la carga útil que portan. Esto permite a la carga deslizarse un tiempo relativo a la trama STM-1 en la cual está contenido. El ajuste de puntero también es posible ante la ocurrencia de cambios de frecuencia o fase como consecuencia de variaciones de retardo de propagación.

El resultado de esto es que, para cualquier flujo de datos, es posible identificar sus canales tributarios individuales, e insertar o extraer información, y de este modo superar uno de los principales inconvenientes del PDH.

La Cabecera de Sección: Los bytes de la cabecera de sección (SOH) son usados para la comunicación entre elementos adyacentes de equipos síncronos. De este modo, además de ser utilizados para la sincronización de trama, también realizan una gran variedad de facilidades de gestión y administración.

La estructura de cabecera de sección STM-1 es la siguiente:

- A1, A2: Enganche de trama.
- J0: Traza de la sección de regeneración.
- D1 a D12: Los bytes D1 a D3 forman un canal de comunicación de datos de 192 Kbps para la sección de regeneración. Los bytes D4 a D12 forman un canal de comunicación de datos para la sección de multiplexación. El uso de ambos canales de comunicación es para gestión de red.
- E1, E2: Canales de instaladores. Empleado para comunicaciones directas entre nodos de equipos.
- F1: Canales para usuario.

- B1, B2: Estos bytes son comprobaciones de paridad simple para detección de errores.
- K1, K2 (bit1 a bit5): Canal dedicado a la conmutación de protección automática.
- K2 (bit6 a bit8): Indicador de RDI para la sección de multiplexación.
- S1 (bit5 a bit8): Indicador de estatus de sincronización.
- M1: Indicador de REI para la sección de multiplexación.
- Z1, Z2: Aún por definir, sin uso.

3.9 Elementos de un sistema de transmisión síncrona.

Existen tres funciones básicas en los equipos de transmisión SDH: Multiplexión, terminación de línea y cross-conexión. En el pasado, estas funciones eran proporcionadas por piezas diferentes e independientes del equipo, pero con la introducción de SDH es posible combinar estas funciones en un simple elemento de red.

Multiplexión: Es la combinación de diversas señales de baja velocidad en una única señal de alta velocidad, con lo cual se consigue una máxima utilización de la infraestructura física. Los sistemas de transmisión síncronos emplean la Multiplexión por División en el Tiempo (TDM).

Terminación de línea/Transmisión: En una dirección la señal digital tributaria es terminada, multiplexada y transmitida en una señal de mayor velocidad. En la dirección opuesta, la señal de mayor tasa de transmisión es terminada, demultiplexada y reconstruida la señal digital de tributario. Esta es la tarea de terminales de línea. Las redes de transmisión síncrona usan típicamente fibra óptica como enlaces de transporte físico así que esto requiere la terminación y transmisión de señales ópticas.

En sistemas PDH las tareas de terminación, multiplexión y transmisión requieren diferentes módulos independientes de equipamiento, pero en SDH estas funciones pueden ser combinadas en un único elemento de red.

Cross-Conexiones: Las cross-conexiones en una red síncrona suponen el establecer interconexiones semi-permanentes entre diferentes canales en un elemento de red. Esto permite que el tráfico sea enviado a nivel de contenedor virtual, si el operador necesita cambiar los circuitos de tráfico en la red, el encaminamiento puede conseguirse cambiando conexiones.

En un sistema SDH se puede establecer diferentes tipos de conexiones entre elementos, como son las siguientes:

- **Unidireccional:** Es una conexión de una vía a través de los elementos de red SDH, por ejemplo enviar tráfico únicamente.

- Bidireccional: Es una conexión de dos vías a través de los elementos de red, teniendo funciones de envío y de recepción de información.
- Extrae y continúa (Drop & Continue): Es una conexión donde la señal es bajada a un tributario del elemento de red pero ésta también continúa por la señal de agregado hacia otro elemento de red. Este tipo de conexiones puede ser usado para difusiones y mecanismos de protección.
- Difusión (Broadcast): Es una conexión donde un contenedor virtual entrante es llevado a más de un contenedor virtual de salida. En Esencia, una señal entrante al elemento de red puede ser transmitida a varios lugares desde el contenedor virtual. Este tipo de conexión puede ser empleado para difusiones de vídeo por ejemplo.

A través de la recomendación de la ITU-T G.782 es que se consideran principalmente tres tipos de elementos de red SDH: Terminales de línea, multiplexores add-drop (ADM) y cross-conectores digitales.

Terminales de línea: Es el tipo de elemento de red SDH más simple. Este implementará únicamente la terminación de línea y la función de multiplexión, de modo que su utilización es típica en configuraciones punto a punto.

Algunos flujos tributarios serán combinados en el terminal de línea para generar un flujo agregado de mayor velocidad y esto será transmitido a un enlace óptico. Elementos de red son requeridos en los dos puntos finales de este enlace y una conexión fija de circuitos de cliente es establecida entre estos dos puntos terminales.

Multiplexores Add-Drop (ADM): Estos equipos ofrecen la función de cross-conexiones junto con la de terminal de línea y multiplexión. En SDH es posible extraer (Drop) un contenedor virtual e insertar en sentido contrario (Add) otro contenedor virtual a la señal STM directamente sin necesidad de despeinarla.

Esta ventaja fundamental de los sistemas síncronos significa que es posible conectar flexiblemente señales entre interfaces de elementos de red (agregados o tributarios). Esta capacidad de enrutamiento permite que la función de cross-conexión sea distribuida por la red, resultando mejor que concentrarla en un enorme cross-conector dedicado.

En un ADM circuitos de tráfico individuales pueden ser llevados fuera del flujo agregado mientras que el resto del tráfico continúa pasando a lo largo de la cadena de elementos. Esto crea una estructura en bus, en la cual una señal puede bajar o mantenerse en el bus en cada punto ADM.

Varios ADM's pueden ser conectados por el bus y la conectividad de cada ADM será donde los circuitos de tráfico son bajados o pasarán, propiedad que puede ser cambiada por el operador en función de las necesidades de tráfico. Así, una conexión flexible entre algunos puntos es creada, como si fuera una línea fija entre cada uno de esos puntos.

Si un cliente quiere portar su circuito de tráfico hacia un nodo diferente, esta petición puede ser enviada remotamente al equipo, reconfigurando a distancia las conexiones en el ADM.

Los ADM's son particularmente útiles para crear redes en anillo. Las señales son introducidas en el anillos vía interfaces tributarios de los ADM, los cuales son acoplados en la señal agregada de mayor velocidad de transmisión dentro del anillo para transportarlas a los otros nodos.

Cross-Conectores Digitales: La cross-conectividad de los ADM's permite que la función de cross-conexión sea distribuida a lo largo de red, pero también es posible tener un único equipo cross-conector. Los cross-conectores digitales (DXC) son los más complejos.

CAPÍTULO 4

Implementación de la tecnología SDH

4.1 Funcionalidades del 1660SM.

4.2 Especificaciones técnicas.

4.3 Recomendaciones de la UIT-T que cumple el 1660SM.

Capítulo 4: Implementación de la tecnología SDH.

Un elemento primordial en este enlace es el **ADM 1660SM**, que se ilustra en la **Figura 19**, es un dispositivo **Multi-Servicio** que cumple con el estándar Jerarquía Digital Síncrona (SDH), definida en las recomendaciones ITU-T G.707.

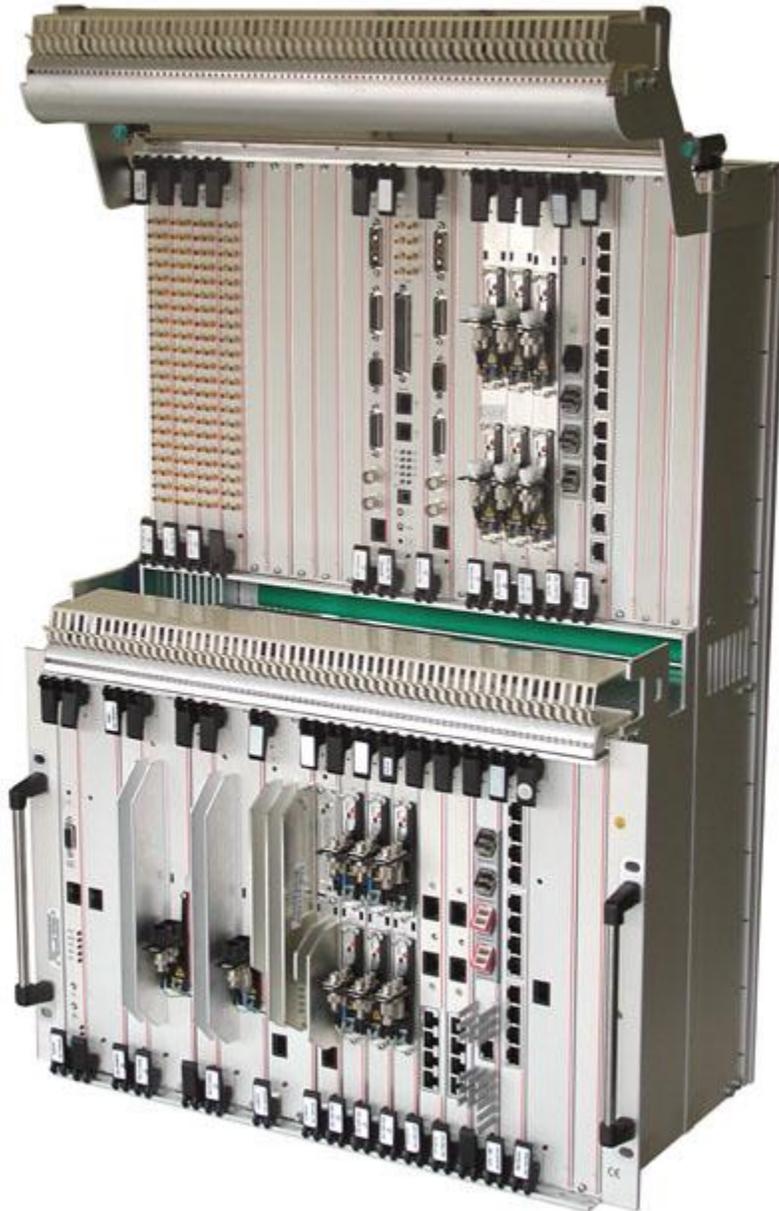


Figura 19 ADM Optinex 1660SM

El nodo 1660SM es un elemento de red para STM-1/4/16/64 para la transmisión y la conexión de una amplia gama de señales PDH y SDH.

El dispositivo 1660SM está compuesto por diferentes tarjetas plug-in, unas son de acceso y otras más de control, esto permite que el equipo se vaya estructurando de acuerdo a las necesidades de la red.

Las unidades de tráfico pueden ser plesiócrona (PDH) o síncrona (SDH). Las tarjetas plug-in pueden ser de los siguientes tipos:

- 63x2Mbit/s unit
- 63x2Mbit/s unit G.703/ISDN-PRA unit
- 3x34/45Mbit/s Switchable unit
- 4x140Mbit/s-STM-1 Switchable electrical unit
- 4xSTM-1 electrical unit
- 4xSTM-1 electrical/optical unit
- 1xSTM-4 optical unit
- 1xSTM-16 optical unit
- 1xSTM-64 optical unit
- ATM switch (4x4 VC-4 and 8x8 VC-4) unit
- 11x10/100 BaseT i/f Ethernet unit
- 14x10/100 BaseT i/f Ethernet access unit
- 4xGigabit Ethernet rate adaptive unit
- 4xGigabit Ethernet rate adaptive access unit

4.1 Funcionalidades del 1660SM.

Es compatible con los sistemas plesiócronicos existentes así como en las redes SDH instaladas, el 1660SM es un equipo de transmisión que opera a velocidades de bit de 155 Mbit/s (STM-1), 622 Mbit/s (STM-4), 2488 Mbit/s (STM-16) y 9953 Mbit/s (STM-64).

Este puede ser configurado como un Multiplexor de Terminal de Línea Múltiple o como Multiplexor Add/Drop, o como un Mini Nodo de Cross- Conector para aplicaciones en enlaces lineares, anillos de red y redes en malla.

En todas las aplicaciones se proporcionan varios mecanismos de protección de red.

Una amplia gama de puertos se pueden multiplexar o añadir/extraer en el 1660SM.

Los puertos de tráfico pueden ser de 2, 34, 45, 140 Mbit/s, eléctrico STM-1, óptico SMT-1, STM-4, STM-16 y STM-64.

Cuando se usa el 1660SM como un Multiplexor de Add/Drop, se pueden usar puertos mixtos STM-N en la misma configuración, lo que permite que se pueda administrar anillos (anillos múltiples) STM-1, STM-4, STM-16 y STM-64 en el mismo equipo al mismo tiempo.

Una gran variedad de módulos de enchufe ópticos STM-1 que operan a 1300 nm y 1550 nm están disponibles para cubrir sistemas de corto y largo alcance. También están disponibles interfaces ópticas dedicadas para interfuncionar con boosters y pre-amplificadores ópticos a todos los niveles STM-N.

Otras funcionalidades:

- Transmisión bidireccional: Para la interfaz óptica del Optinex 1660SM se implementa una transmisión bidireccional en una función de una sola fibra, usando un acoplador óptico pasivo externo.
- ISDN-PRA: El Optinex 1660SM soporta la funcionalidad NT en ISDN-PRA de 2 Mbit/s.
- Control de Equipo Remoto: Esta función permite un sistema de administración centralizada para redes SDH pequeñas, similares a las que ofrece un OS. Esto significa que es posible desempeñar funcionalidades de administración, de un de los NE's de la red, hacia el otro NE (hasta 31), como modificación de configuración y control remoto.
- Administración de transporte ATM: El Optinex 1660SM tiene una conmutación ATM integrada y capacidad para ruteo de IP, disponibles por medio de una tarjeta de conmutación/enrutador opcional (prevista para versiones futuras).
- OS Dual: El OS de repuesto está provisto para proteger al Principal.

El equipo 1660SM se puede usar en redes metropolitanas, regionales y locales que se configuran para sistemas síncronos y plesiócronicos estándar.

4.2 Especificaciones técnicas.

Velocidad de bit de línea óptica:	155.520 Mbit/s (STM-1) 622.080 Mbit/s (STM-4) 2488.320 Mbit/s (STM-16) 9953.280 Mbit/s (STM-64)
Tipo de fibra óptica:	Modo-individual, cumple con ITU-T Rec. G. 652, y G. 654.
Capacidad de cross-conexiones:	(96x96) Puertos STM-1 equivalentes a nivel VC-4 o (64x64) puertos equivalentes STM-1 a niveles VC-3 y VC12+(32x32) puertos equivalentes a nivel VC-4.
Características de cross-conexiones:	El 1660SM tiene una arquitectura simétrica. Todos los puertos de tráfico (PDH SDH) del mismo tipo tienen la misma funcionalidad y comportamiento y no hay división inherente entre los tributarios y agregados. Esto significa que es posible la distribución de las señales PDH y VC _i en cada puerto.
Retardo de transmisión:	Máximo 125 μs para cualquier trayecto de tráfico.

4.3 Recomendaciones de la UIT-T que cumple el 1660SM.

- **G.703** Características físicas/eléctricas de interfaces digitales.
- **G.707** Velocidades de comunicación en SDH.
- **G.708** Interface de nodo de red para SDH.
- **G.709** Estructura de Multiplexación.
- **G.773** Capas de protocolo de interfaces para manejo de sistemas de transmisión.
- **G.781** Estructura de recomendaciones para los equipos de multiplexación SDH.
- **G.782** Características generales de los equipos multiplexores SDH.
- **G.783** Características de los bloques funcionales de SDH.
- **G.784** Administración SDH.
- **G.803** Arquitectura de redes de transporte basadas en la Jerarquía Digital Síncrona.
- **G.815** Características de temporización de relojes esclavos para operación de equipo SDH.
- **G.823** Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la Jerarquía de 2.048 Mb/s.
- **G.825** Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la Jerarquía SDH.
- **G.826** Parámetros de calidad para trayectorias digitales internacionales de velocidad binaria constante.
- **G.841** Tipos y características de arquitecturas de redes de protección.
- **G.957** Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados a la Jerarquía Digital Síncrona.
- **G.958** Sistemas Digitales de Línea basados en SDH para uso de cable de fibra óptica.

CAPÍTULO 5

Etapas 1

Instalación del cable de fibra óptica

5.1 Estructura del cable.

5.2 Código de colores.

5.3 Tipos de cable.

5.4 Cálculo de la ruta e instalación del cable.

5.5 Empalmes.

Capítulo 5: Etapa 1-Instalación del cable de fibra óptica.

El desarrollo de los distintos tipos de cable de fibra óptica para tendidos de largas distancias generó una revolución en el mundo de las telecomunicaciones y al mismo tiempo la introducción de la fibra óptica.

Los cables de fibra óptica para tendidos aéreos, en sus distintas conformaciones pero en especial aquellos que pueden ser instalados en líneas de alta tensión, se han destacado como sistemas aptos para transmisión de comunicaciones, no sólo con calidad, sino además, con la ventaja de hacerlo a un costo bajo.

5.1 Estructura del cable.

La fibra óptica no puede sobrevivir por si sola en los ambientes de instalación sin protección. La estructura, con estos seis elementos, proporciona esa protección. Estos elementos son:

- **Tubos de protección (buffer):** El tubo de protección (buffer) es la primera capa de plástico colocada alrededor de la fibra por el fabricante de cable. Este tubo de protección puede ser de tubo holgado, con un diámetro de entre 2 y 3 mm o de tubo apretado, con un diámetro de 0.9 mm.
- **Materiales para bloquear el agua:** Los cables de fibra óptica requieren tener resistencia contra la humedad. Esta resistencia previene que el cable transporte agua y que llegue hasta la electrónica, que las fibras se rompan debido a la congelación del agua que rodea los cables y degradación de la fortaleza de la fibra que proviene del agua circundante de la tierra.

Cuando están bloqueados con rellenos de gel y grasa (“filled and blocked”), los tubos holgados tiene un costo relativamente alto para la terminación. Debido a estas desventajas, la mayoría de los actuales cables que son resistentes a la humedad están hechos con materiales de polímero súper absorbente (SAP). Estos materiales convierten al agua en gel. A cambio de esto, el gel aumenta muchas veces el volumen original del SAP. Esta dilatación bloquea el futuro ingreso del agua.

- **Elementos de refuerzo:** Todos los cables de fibra óptica tienen materiales como elemento de refuerzo. Estos materiales previenen el aplastamiento de las fibras durante la instalación del cable. Los elementos de refuerzo pueden ser localizados en el centro del cable, como un elemento central de refuerzo, fuera de los tubos de protección

y dentro de la cubierta exterior o entre las cubiertas exteriores. Entre los elementos de refuerzo incluyen los tejidos de aramida, como Kevlar, hilos de fibra de vidrio u cables de acero.

- **Cintas para agrupamiento:** Las cintas para agrupamiento, usualmente de Mylar, son colocadas fuera de los tubos holgados para mantener los tubos holgados juntos después de la fabricación y durante la instalación de la cubierta. Adicionalmente, estas cintas proveen una barrera contra el calor que se produce durante la extrusión para que no se dañen los tubos holgados.
- **Cubiertas:** Todos los cables tienen una o más cubiertas. Las cubiertas, es la capa exterior de la estructura del cable, sirven para proteger el núcleo del cable y para dar cumplimiento con el Código Eléctrico Nacional de Estados Unidos (*National Electrical Code*) (NEC, 4.5). Los materiales de la cubierta proporcionan esta protección dándole resistencia a las condiciones impuestas al cable por el medio ambiente en el que el cable es instalado. Estas condiciones incluyen la exposición a los rayos ultravioleta (UV). Abrasión, agua y químicos.

Los colores de las cubiertas para interiores indican el tipo de fibra en el cable. Por una convención, un cable para interiores de color amarillo, tiene fibra óptica monomodo. Otros colores como el naranja, gris y morado son usados para cables multimodo.

- **Armadura:** Las armaduras de acero corrugado, con recubrimiento plástico, proporcionan tanto alta resistencia a la compresión como resistencia contra roedores. Ambas resistencias son necesarias cuando el cable es directamente enterrado. El corrugado proporciona una mejoría limitada en cuanto a la flexibilidad. El recubrimiento de plástico permite que la armadura sea calentada y sellada en sí misma, proporcionando una forma de medir la resistencia a la humedad. El material de acero inoxidable no sufre de corrosión y la resistencia contra el aplastamiento y los roedores permanece constante: la armadura siempre tiene una cubierta exterior. La armadura puede tener una cubierta interna.

5.2 Código de colores.

Para identificar las fibras ópticas y los tubos dentro de un cable de fibra se emplea comúnmente el código de colores estándar de la **Figura 20**, de la norma TIA/EIA-598.

El código TIA/EIA-598 es para tubos con 12 fibras, pero hay fabricantes que varían su número de fibras en cada tubo, en estos casos se emplea el mismo código, solo es cuestión de adaptarlo, por ejemplo hay fabricantes que traen las

primeras seis fibras en el primer tubo, que es el azul y las seis fibras restantes en el segundo tubo, que es el naranja [IEfo].

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

Figura 20 Código estándar TIA/EIA-598

5.3 Tipos de cable.

En general para el tendido de fibra óptica en la estructura de transmisión aérea de energía existen tres alternativas.

1. Colgando por las líneas de alta tensión usando cable ADSS (All Dielectric self-Supported).
2. Embutido en cable de guarda tipo OPGW (Optical Ground Wire).
3. Adosado el cable de guarda a una de las líneas de fase. Esta opción tiene modalidades: devanado, engrapado o colgado. La primera de ellas puede ser realizado con mediante máquinas automáticas con control remoto.

Para la selección del método y mecánicas de la línea de transmisión se requiere la evaluación de los siguientes factores:

- Especificaciones y mecánicas de la línea de transmisión.
- Tipo de estructura y especificaciones mecánicas de las torres de alta tensión.
- Longitud de separación entre torres.
- Carga de diseño de las líneas de transmisión y factor de seguridad.
- Antigüedad de la infraestructura.
- Presencia de factores ambientales adversos como: atmósfera corrosiva, quema de restos agrícolas.

- Seguridad física (Contra accidentes, sabotajes o terrorismo).
- Costo de instalación.
- Disponibilidad de líneas de transmisión y fuentes de energía alternas para la desenergización temporal de las líneas durante la instalación.

Para la determinación de la cantidad y tipo de fibra óptica es necesario tomar en consideración los siguientes factores:

- Tráfico inicial y proyecciones futuras del tráfico telefónico público.
- Capacidad adicional para otros tipos de servicios: telefonía, circuitos privados, televisión, etc.
- Previsión para nuevos servicios de gran demanda de ancho de banda que puedan generarse en el futuro.
- Previsión de aumento de tráfico futuro por reducción en el precio de los servicios de telecomunicaciones.
- Factores limitados derivados de la infraestructura existente a utilizar, tales como la carga mecánica de la infraestructura.
- Distancia máxima de separación entre terminales y repetidoras.
- Costo adicional por aumento de cada fibra.

En la instalación de cables de fibra óptica destinados a las líneas de alta tensión, se utilizan diversos tipos de cable que puedan contener el mismo tipo y número de fibras ópticas. Los diferentes tipos de cables que contienen a las fibras ópticas, se eligen de acuerdo a las condiciones mecánicas eléctricas de la línea de transmisión específica.

Cable ADSS: Son cables ópticos auto-sustentados totalmente dieléctricos, fueron sometidos a rigurosas pruebas ambientales y mecánicas, de acuerdo a las normas apropiadas de EIA/TIA, IEEE y ASTM. Inicialmente con el uso de cables ópticos auto-sustentados ADSS se eliminó la necesidad de un cable mensajero, constituyendo de este modo una excelente solución para distancias largas tal como travesías de ríos y carreteras ofreciendo ventajas en costo y facilidad de instalación.



Figura 21 Cable óptico ADSS

Estos cables ópticos como el de la **Figura 21** son inmunes a interferencias de las redes eléctricas y no son susceptibles a la caída de rayos ya que carece de elementos metálicos.

Cable OPGW: Este cable mostrado en la **Figura 22** está diseñado para extenderse hasta 10 km, reemplazando al cable de guarda existente en la red de transmisión eléctrica, permitiendo un doble uso real aprovechando, mejor los recursos de la torre de transmisión eléctrica.



Figura 22 Cable óptico OPGW

La fibra óptica especializada de propósito dual está constituida por un núcleo de aluminio flexible, dentro del mismo se concentran los tubos buffer, que permiten a la fibra óptica, distribuirse entre ellos en número de 6, 12, 16 o 48 fibras.

La fibra óptica cumple sobradamente con los requerimientos CCITT, G652, para fibra de monomodo y con G655 de dispersión desplazada.

Individualmente las fibras ópticas son protegidas por una cubierta de plástico que protege los daños físicos, ambientales y por efecto de manipulación de la misma.

El núcleo de fibras ópticas se aloja en el interior de un tubo de aluminio revestido que proporciona tanto protección mecánica al núcleo óptico como estanqueidad frente a la humedad o penetración de agua. Este tubo de aluminio proporciona a su vez alta conductividad eléctrica necesaria para la disipación de las descargas atmosféricas o cortocircuitos accidentales.

Cable LASHED: Los cables ópticos tipo lashed son cables dieléctricos, instalados longitudinalmente a lo largo de conductos en tierra, a través de fibras de rifle, elementos pre-formados o de grampas de fijación.

El cable lashed posee un diseño totalmente dieléctrico, a fin de posibilidad que sea fijado al cable pararrayo o conductor a través de una fibra rifle. Este es un cable de baja resistencia a la tracción, no posee un elemento de tracción propio para su soporte, dependiendo totalmente de la resistencia del cable metálico, lo cual está preso.

La instalación del cable lashed es más lenta y más costosa en comparación a otros cables auto-sustentados, y este será siempre el “vínculo” más delicado, porque si la línea se rompe, este cable óptico perderá su soporte, acarreado un mayor tiempo de reparo para restaurar la red.

Los cables lashed poseen un costo más bajo debido a su construcción más simple, tiene un desempeño menor comparado con el cable auto-sustentado, por tanto tomarse todos los costos que podrán ocurrir durante la vida útil del sistema [IEfo].

Cuando se refiere a un cable de fibra óptica la notación es la siguiente: 36 FO SM 9/125, el primer dato se refiere al número de fibras del cable, SM es el tipo de propagación, en este ejemplo es Single Mode y los siguientes números se refieren a la medida del núcleo y del revestimiento respectivamente, esta información está dada en micras.

Como estándar las dimensiones de la fibra monomodo es de 9/125, y para la fibra multimodo hay dos: 50/125 y 62.5/125.

Debido a sus características propias de cada cable de fibra, expuestas anteriormente, se decidió usar cable OPGW en todo el trayecto sobre las torres de alta tensión, hasta la ciudad, a partir de ahí se utiliza cable ADSS, para llevar éste cable a través de los postes de las líneas de 115 kv, hasta llegar al Hotel Carrier.

5.4 Cálculo de la ruta e instalación del cable.

El colateral del nodo que está en el Hotel de Acapulco, se encuentra en el Hotel de Chilpancingo, ya existe una ruta de fibra óptica de Chilpancingo a Acapulco, pero para dar de alta el servicio de Cablemás, será necesario habilitar una ruta alterna a través de otra de las líneas de las torres de alta tensión, esta nueva ruta servirá como respaldo de la línea principal.

El tendido del cable de fibra óptica OPGW fue realizado por un equipo de linieros, en promedio instalaron una bobina de 5 kilómetros al día, la maniobra la inician colocando poleas en todas las torres en las cuales instalaran el cable, la bobina del cable de fibra es colocada sobre una maquina llamada “traccionadora”, pasan la punta del cable a través de las poleas, la traccionadora va girando y a su vez soltando el cable de fibra, una vez que la punta llega hasta el final, se sujeta ese extremo a la torre, mientras que la traccionadora se echa a andar pero ahora

en sentido contrario, para de esta forma poder tensar el cable, se van retirando las poleas y sujetando el cable en cada torre por el que pasa.

Para calcular aproximadamente cuanto será la pérdida en todo el recorrido de la fibra, se toma en cuenta que por cada kilómetro tiene una atenuación de 0.22 dB/Km y que cada 5 Km se pondrá una caja de empalme para unir los carretes de cable, en cada empalme de fusión se estima tener una pérdida de 0.03 dB y en cada extremo de la línea se harán uniones mecánicas con jumpers que irán del distribuidor óptico a los dispositivos, en cada unión mecánica se estima una atenuación de 0.7 dB.

En el siguiente diagrama de la **23** se puede apreciar el cálculo de la atenuación total del cable de fibra óptica.



Figura 23 Cálculo de la atenuación

Es así como se obtiene el siguiente cálculo total de la atenuación:

100 Km de línea:	$100 * 0.22 = 22$
21 empalmes de fusión:	$21 * 0.03 = 0.63$
2 uniones mecánicas:	$2 * 0.7 = 1.4$

24.03 dB

El siguiente diagrama de la **Figura 24** muestra un modelo de cómo es transportado el cable de fibra, como sale desde la central en la ciudad de México, viaja a través de la red de transporte en las torres de alta tensión, cambia a la red de reparto en los postes hasta llegar al Hotel para operadores, el operador conecta su línea desde sus instalaciones hasta el Hotel para recibir el servicio que ha contratado.

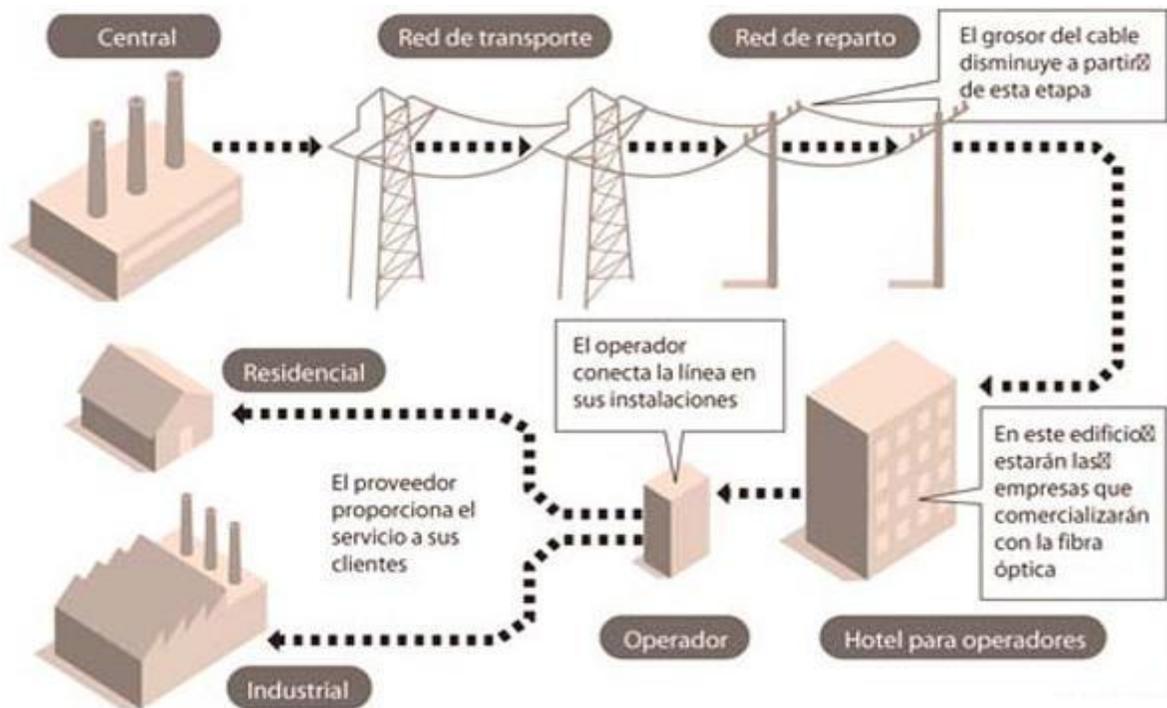


Figura 24 Modelo de la ruta del cable de fibra óptica

Prácticamente la ruta por la que atraviesa el cable de fibra, es la del cableado de alta tensión ya existente, del Sistema Eléctrico Nacional, proveniente del Distrito Federal, hasta la ciudad de Acapulco.

El cable OPGW está ubicado en la parte superior de las torres de alta tensión, como se ilustra en la **25**, reemplaza el cable de guarda existente en la red de transmisión eléctrica.

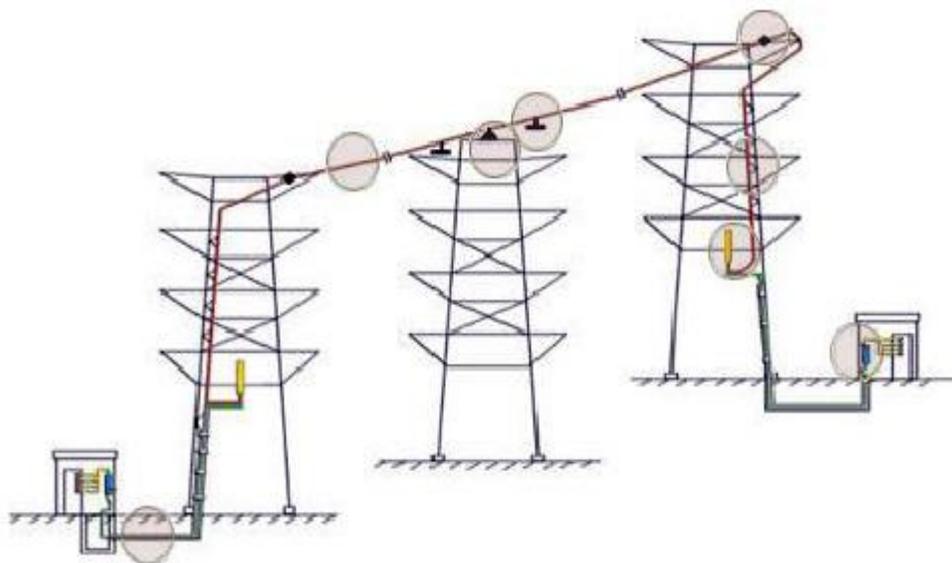


Figura 25 Ubicación del cable OPGW

Éste cable primeramente llega a una Subestación de potencia, como primer punto en Acapulco, continua a través de troncocónicos hasta el centro de la ciudad.

A partir del centro se cambia a cable ADSS. La ruta que sigue el cable ADSS es a través de una de las principales vialidades de la ciudad, en donde se ha planeado como la idónea, tomando en cuenta, los postes necesarios para fijar el cable, evitar los posibles riesgos que pudieran ser una amenaza para dañar la fibra, el que sea un trayecto lo más horizontal posible.

5.5 Empalmes.

En promedio cada bobina de cable de fibra óptica mide 5 kilómetros, es necesario realizar empalmes para ir uniendo las bobinas que sean necesarias para cubrir la ruta.

Los empalmes son las uniones permanentes entre dos fibras. Un empalme tiene dos funciones: provisión de pérdida baja y alto refuerzo.

Generalmente los empalmes son realizados en dos lugares: a la mitad de un tramo y en los extremos finales. Existen dos tipos de empalmes: mecánicos y por fusión.

El empalme mecánico es el proceso de insertar dos fibras preparadas en sus extremos y alineadas dentro de una cubierta.

Diferentes métodos crean la alineación precisa. Algunos empalmes tienen un tubo de precisión capilar para alineación. Otros empalmes usan un sustrato de silicón de precisión.

Antes de iniciar los empalmes, es recomendable dejar reposar el cable de fibra por lo menos 24 horas después de su instalación, debido a que el cable es sometido a una tensión, y es más o menos ese el tiempo que tarda en regresar a su estado normal.

Durante este enlace se empleó el **empalme por fusión**, que es el proceso de fundir o soldar dos fibras. Los empalmes de fusión son usados en la mayoría de las instalaciones nuevas y en reparaciones.

Este método requiere de una empalmadora de fusión, para este proyecto se utilizó la de la **Figura 26**. La empalmadora de fusión provee de dos funciones: la alineación precisa de las fibras una contra la otra antes de realizar el empalme y control de la operación de empalme.



Figura 26 Empalmadora de fusión

Para iniciar los empalmes, se tiene que preparar el cable de fibra, tiene que ser descubierto aproximadamente de un metro y medio para poder manipularlo, se limpia el excedente de gel en las fibras con toallitas especialmente humectadas con alcohol isopropílico, con una pinza especial, se pela aproximadamente 5 cm de recubrimiento plástico, se introduce la fibra en el canal de la cortadora, se corta la fibra de unos 16 a 8 mm **[SisTeFO]**.

Una vez que se ha cortado la fibra, se coloca dentro de la empalmadora sobre las marcas indicadas, en este movimiento se debe de cuidar de que la punta de la fibra no haga contacto con nada, porque esto podría incluso estrellar la fibra, se repite el procedimiento con su fibra correspondiente de la otra punta, de acuerdo al código de colores.

La empalmadora realiza la alineación activa de dos maneras: alineación de perfiles (profile alignment) o PAL y la de inyección local y detección (local injection and detection) o LID.

Para realizar la alineación de perfiles, la empalmadora emplea una fuente de luz colimada, un microscopio, digitalización de imágenes y un programa de análisis de imágenes.

La luz colimada hace visibles las fronteras del núcleo y el revestimiento en ambas fibras. Las imágenes digitalizadas son analizadas por el programa que define esta frontera desde dos vistas perpendiculares. Un programa de control ajusta una fibra para corregir la falta de balance en uno de los núcleos y que sea mínimo en los dos ejes **[IEfo]**.

En el display de la empalmadora se verán las dos puntas, como lo muestra la **Figura 27**, pudiéndose observar si el ángulo de corte es perfectamente recto.

Luego se procede a alinearlas, ya que se ha realizado esto, se inicia el empalme a través de un arco eléctrico dado entre dos electrodos, como lo ilustra la **Figura 28**, se aplica una corriente de prefusión y una de fusión.

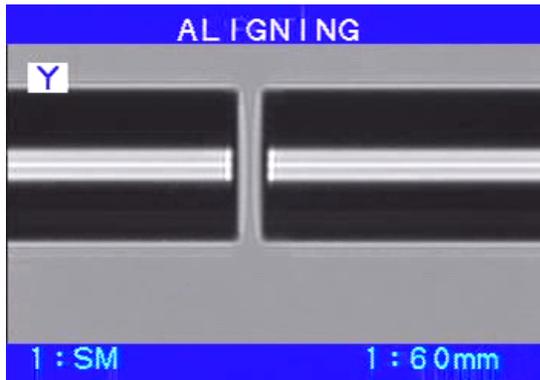


Figura 27 Alineación de las puntas

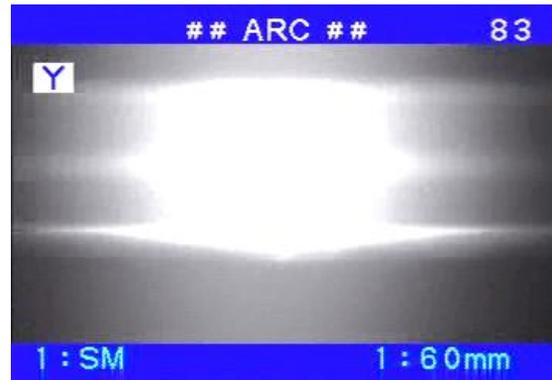


Figura 28 Arco eléctrico

Después de que se ha realizado el empalme, el mismo programa analiza la imagen para proporcionar un valor de pérdida del empalme, como se aprecia en la **Figura 29** y **Figura 30**. Este valor es una estimación, que puede ser medido posteriormente con un OTDR.

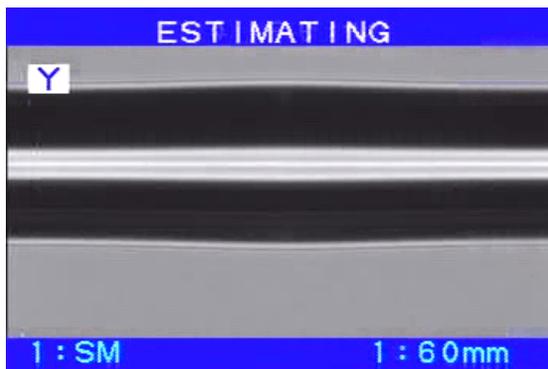


Figura 29 Estimación de la pérdida



Figura 30 Pérdida del empalme

La zona del empalme es muy delicada, por lo que se protege con un termocontráctil, el cual cuenta con un alma de acero que le da firmeza al área de la unión.

Se fue comprobando con la empalmadora que cada empalme tenía una pérdida de 0 a 0.03 dB como máximo, este era el parámetro para que fuera tomado como un empalme exitoso.

Los empalmes de fusión tienen como ventajas: la baja pérdida, baja o ninguna reflectancia, alta resistencia y costo bajo.

Una vez terminado de empalmar las 36 fibras, se colocan dentro de la charola, como se muestra en **Figura 31**, se coloca la charola dentro de la caja de empalme para ser sellada y así evitar que agentes externos o humedad ingrese al interior de la caja de empalme. La caja se fija a la estructura de la torre. Con este procedimiento se realizaron los empalmes en cada torre donde fuera necesario unir una bobina de cable con otra.

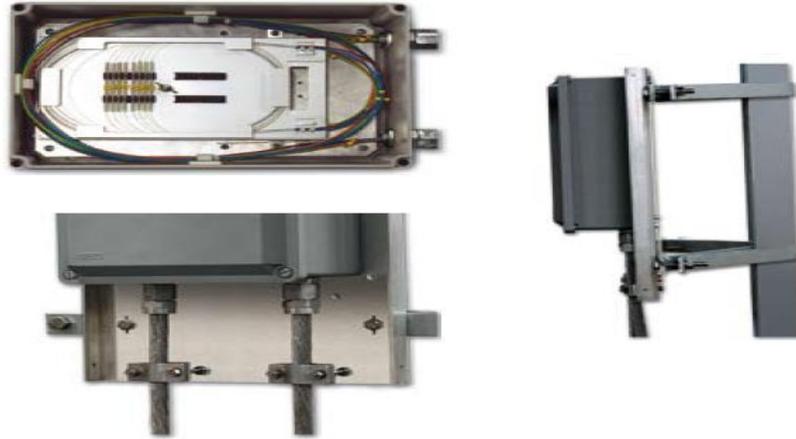


Figura 31 Caja de empalme para cable OPGW

CAPÍTULO 6

Etapas 2

Desarrollo de las conexiones

6.1 Distribuidor óptico.

6.2 Conectores.

6.3 Cables de interconexión.

6.4 Conexiones.

Capítulo 6: Etapa 2-Desarrollo de las conexiones.

Una vez que ya se cuenta con el cable de fibra hasta el interior de las instalaciones del Hotel, se continúa a hacer las conexiones necesarias para dar el servicio.

6.1 Distribuidor óptico.

El distribuidor óptico, ODF (Optical Distribution Frame) por sus siglas en inglés, es el elemento de interconexión entre cables de fibra óptica proveniente del exterior y equipos activos. Suele ser una caja metálica que posee uno o varios accesos de cables en la parte trasera y un área de patcheo en la parte frontal, en su interior bandejas de empalme, donde son colocadas las fusiones de fibra. Los ODF son de capacidades variables y así mismo pueden tener varios tipos de adaptadores. Los ODF que se utilizaron para este proyecto son con capacidad para 36 fibras, seccionado en 3 partes, cada sección para un buffer de 12 fibras.

Como se recuerda, para toda la ruta del cable óptico, se utilizó un cable de 3 buffers, con 12 fibras en cada buffer, para un total de 36 fibras dentro del cable.

La **Figura 32** muestra finalmente como quedan las fibras distribuidas dentro de un ODF.



Figura 32 Distribuidos óptico

6.2 Conectores.

Los conectores proporcionan cuatro funciones:

- Baja pérdida de potencia
- Gran fuerza de retención de la fibra
- Protección en el extremo
- Desconexión

Los conectores alcanzan una baja pérdida de potencia a través de un alineamiento preciso de los diámetros de los núcleos tan pequeños de las fibras.

Los conectores permiten la desconexión o desacoplamiento de la fibra, tanto del equipo opto electrónico o de otra fibra. Los conectores son usados para crear conexiones temporales y son instalados en cualquier lugar en donde las conexiones permanentes no son usadas.

La mayor parte de los fabricantes de equipos ópticos en la actualidad, tienen productos con interfaces de los siguientes conectores mostrados en la **Figura 33**:

- **ST**: Introducido por primera vez en 1986, es un conector de bayoneta, contacto, pérdida moderada.
- **SC**: Disponible por primera vez en 1988, fue desarrollado por Nippon Telephone and Telegraph (NTT) en Japón. Es de bayoneta, contacto, pérdida moderada, a prueba de jalones y movimientos.
- **FC**: Desarrollado originalmente en Japón, este conector tiene algunas características tanto del conector ST y del SC. Al igual que el ST, ambos tienen una forma de inserción por rotación, como el SC, ambos son de bayoneta, contacto, pérdida moderada, a prueba de jalones y movimientos.
- **LC**: Es un diseño de bayoneta, de contacto, de baja a moderada pérdida, a prueba de jalones y movimiento.



Figura 33 Conectores de fibra óptica

También existen otra variedad de conectores más antiguos, como lo son: SMA, Bicónico, Mini-BNC, ESCON, etc, prácticamente estos se han dejado de utilizar en la actualidad por diferentes razones, entre la más común, es que tenían superficies planas en el extremo y deliberadamente espacios de aire, lo que resultaba en una alta reflectancia [IEfo].

A su vez estos conectores se dividen de acuerdo al pulido de su férula en UPC (Ultra Contacto Físico) y APC (Contacto Físico Angulado), mostrados en la **Figura 34**. En la actualidad la mayoría de los dispositivos usan conectores UPC, como fue en este proyecto.

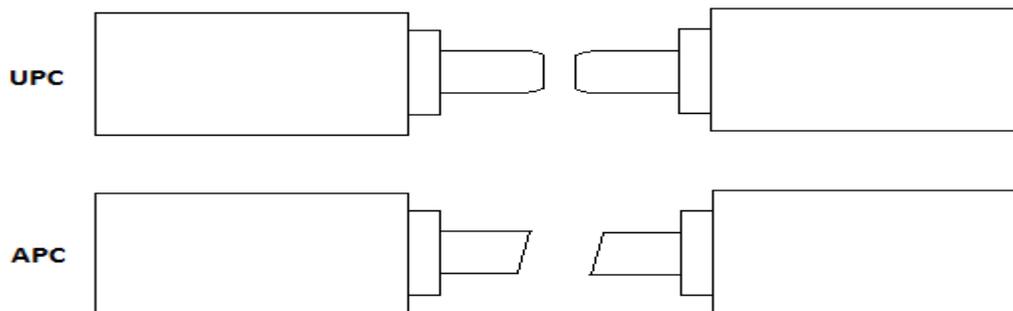


Figura 34 Conectores con pulido UPC y APC

6.3 Cables de interconexión.

Los conectores son utilizados en los extremos de los cables para interconexiones, estos cables de una sola fibra son también conocidos como jumpers.

Los jumpers pueden tener un tipo de conector en un extremo y otro tipo en el otro extremo o el mismo tipo de conector en ambos extremos, de acuerdo a las interfaces de los equipos ópticos que se necesitan conectar.

La cubierta de los jumpers obedece a un código de colores, los de color amarillo son de fibra monomodo, como los de la **Figura 35** y los de cubierta color naranja o azul son de fibra multimodo.

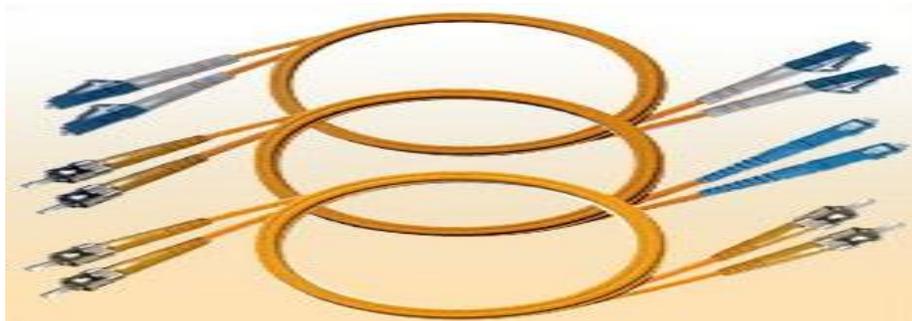


Figura 35 Jumpers dúplex monomodo

6.4 Conexiones.

Una vez que ya se cuenta con el cable de fibra óptica hasta el interior del gabinete en el hotel, se debe de dejar unos metros de excedente, para poder trabajar con él y se pueda fijar al ODF en el cual se va a empalmar.

En el interior del hotel se encuentran los gabinetes, como lo ilustra la **Figura 36**, en el primero del extremo de la derecha es donde fue instalado el SDH 1660, en el gabinete continuo están los ODF's que interconectan al nodo SDH con los gabinetes de los demás clientes y en el tercer gabinete es donde están instalados los equipos del cliente

En este caso los dispositivos que el cliente instaló fueron dos routers, uno de trabajo y el otro como respaldo, que a su vez salen a través de fibra óptica hasta las instalaciones de Cablemás.

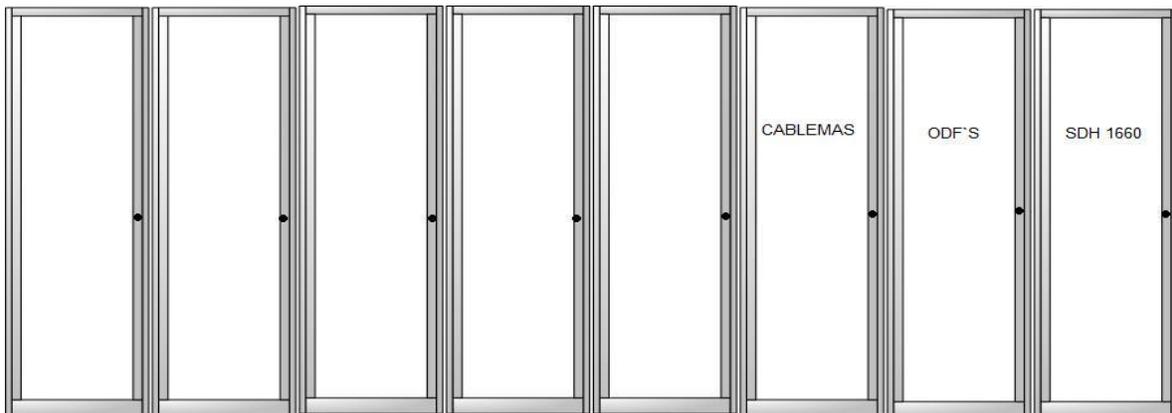


Figura 36 Gabinetes de comunicaciones

El cable de fibra óptica que viene desde la ciudad de México, llega al segundo gabinete en donde es fijado y empalmado a un ODF, con pictails de conectores FC, se empalman las 36 fibras que tiene el cable, se toman 4 fibras para conectar al SDH 1660 a través de jumpers monomodo FC-FC, 2 fibras son para la línea de trabajo y las otras 2 para la de respaldo, en dado caso que la primera llegara a fallar, del par de fibras de la línea de trabajo, una fibra es para el transmisor, TX, y la otra para el receptor, RX.

El SDH 1660, a través de una tarjeta Gigabit Ethernet provee el servicio de Cablemás, es conectado a través de un jumper FC-LC monomodo hasta otro ODF que está en el gabinete continuo, debajo del primer ODF donde llega el cable de fibra óptica.

Este segundo ODF sirve como punto de interconexión o frontera entre el SDH 1660 y los routers del cliente Cablemás, la **Figura 37** muestra como queda la distribución de los gabinetes.

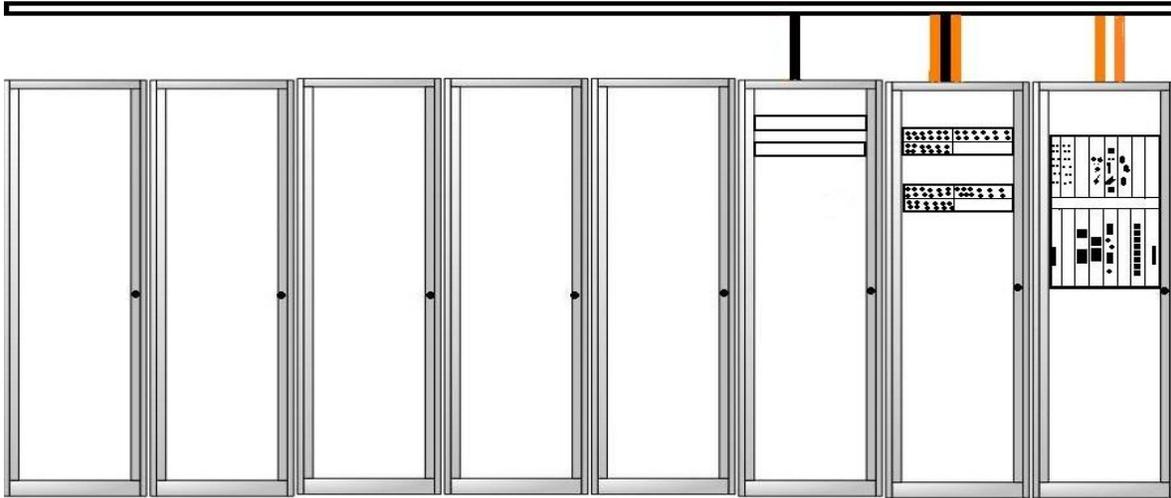


Figura 37 Distribución de tubería en gabinetes de comunicaciones

CAPÍTULO 7

Análisis de pruebas

7.1 Reflectometría óptica de dominio en el tiempo.

7.2 Interpretación de las gráficas en un OTDR.

7.3 Pruebas del enlace con el OTDR.

7.4 Validación del canal con equipo de medición.

Capítulo 7: Análisis de pruebas.

Una vez que se ha terminado de hacer todas las conexiones, instalaciones y empalmes necesarios, se procedió a hacer todas las pruebas necesarias para validar el canal y servicio del cliente.

7.1 Reflectometría óptica de dominio en el tiempo.

Se utiliza el OTDR (Optical Time Domain Reflectometer), reflectómetro óptico de dominio en el tiempo, es un instrumento de medición que permite estimar la longitud de la fibra, su atenuación e incluso fallas como rotura de la fibra, en un enlace.

El principio básico del funcionamiento del OTDR, se basa en conceptos de la atenuación. A medida que la luz se mueve a través de una fibra óptica, alguna parte de ella es dispersada hacia la frontera del núcleo en un ángulo mayor que el ángulo crítico. Esta luz escapa del núcleo, creando atenuación.

Sin embargo, alguna de la luz es regresada hacia atrás al extremo de entrada de la fibra en un ángulo menor que el ángulo crítico. Esta luz experimenta reflexión interna total y viaja de regreso hasta el punto de entrada de la fibra. Por lo tanto, cuando hay luz moviéndose en una dirección en una fibra, existe una pequeña cantidad óptica moviéndose en dirección opuesta.

El proceso del funcionamiento del OTDR inicia con un diodo láser que envía un pulso de luz a través de la fibra. En cada punto a lo largo de la fibra, alguna luz es dispersada y regresada hacia el OTDR. El acoplador direccional dirige la potencia óptica retrodispersada al detector de alta sensibilidad.

El OTDR mide la potencia dispersada y regresada en función del tiempo. El OTDR despliega los niveles de potencia óptica en relación con la distancia. El OTDR despliega esta información en forma de una gráfica **[SisTeFO]**.

7.2 Interpretación de las gráficas en un OTDR.

El OTDR muestra diferentes gráficas para los eventos que suceden en una fibra. En las gráficas podemos ver qué es y dónde está.

Una fibra única genera la gráfica de la **Figura 38**. Se puede apreciar el nivel de potencia ligeramente decreciente (atenuación) y las fuertes reflexiones al principio y final de la fibra.

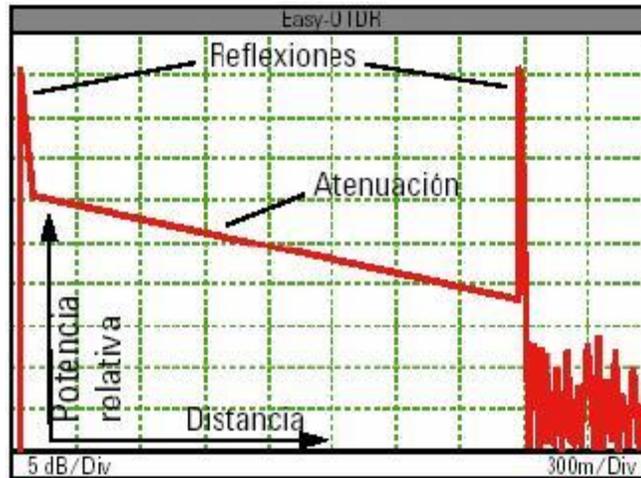


Figura 38 Nivel de potencia

En la **Figura 39** se muestra un enlace completo, por ejemplo, el que se puede dar entre dos ciudades. Se puede apreciar la atenuación y el ruido al final de la fibra.

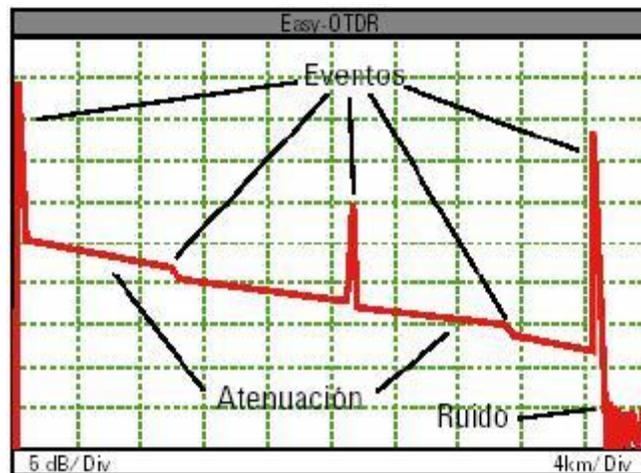


Figura 39 Enlace completo

Como muestra la **Figura 40**, la reflexión que hay ante un conector o principio de la fibra, el cual es llamado “pulso de entrada”.

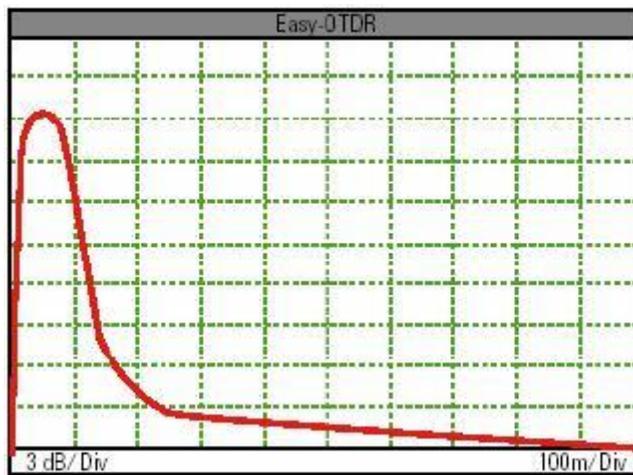


Figura 40 Pulso de entrada

Para completar la **Figura 40** anterior, la siguiente **Figura 41** muestra lo que es el final de una fibra, es una reflexión muy similar a la de inicio, esta reflexión es llamada “pulso de salida”.

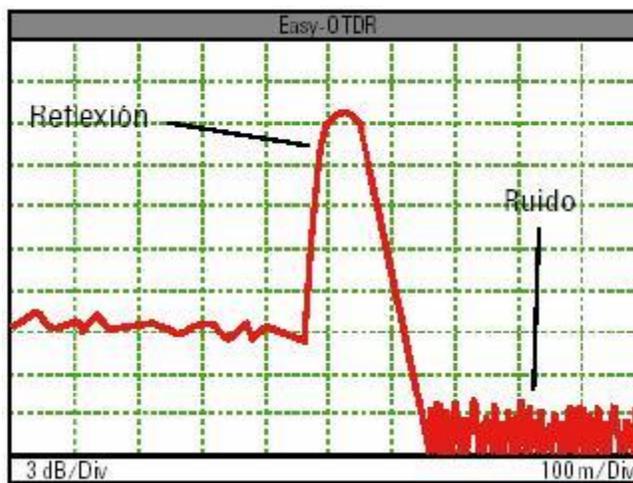


Figura 41 Pulso de salida

En esta gráfica de la **Figura 42**, se aprecia cuando sucede una ruptura en la fibra. Se puede ver como prácticamente ya no hay nada más a partir de la pendiente, tiene una pérdida total hasta la zona de ruido.

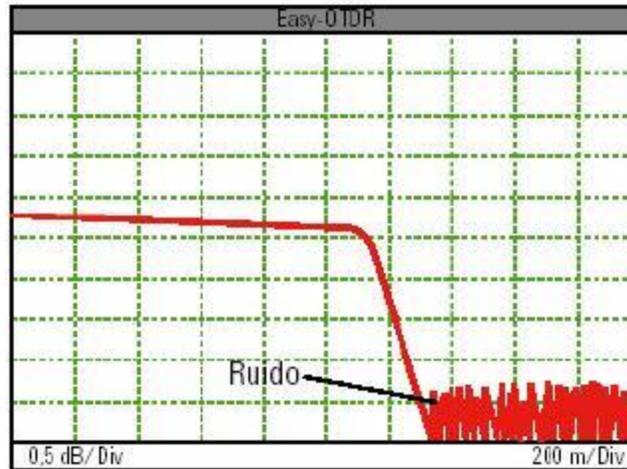


Figura 42 Zona de ruido

En la siguiente **Figura 43** se muestra un pulso, que es la reflexión causada por un conector y las líneas punteadas muestran la atenuación.

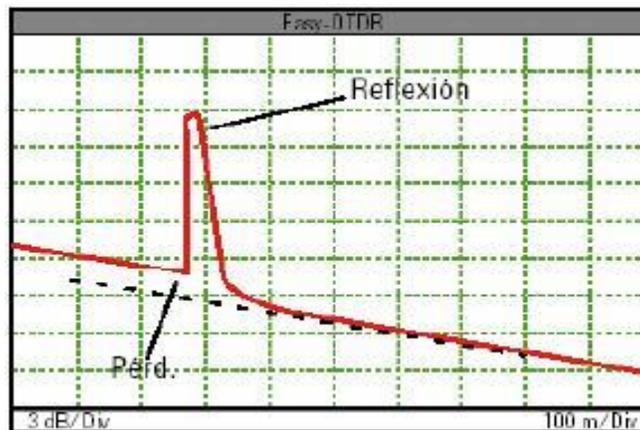


Figura 43 Pulso por reflexión

En la gráfica de la **Figura 44** se ve la pérdida o atenuación que hay en un empalme por fusión. Hoy en día las fusiones son tan eficientes que no se alcanzan a ver.

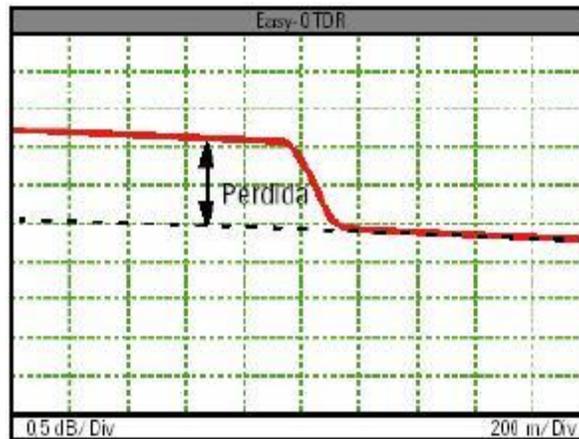


Figura 44 Atenuación por empalme

En la **Figura 45** también se aprecia un empalme por fusión, sin embargo, el cambio de características de la segunda fibra favorece en una ganancia de energía.

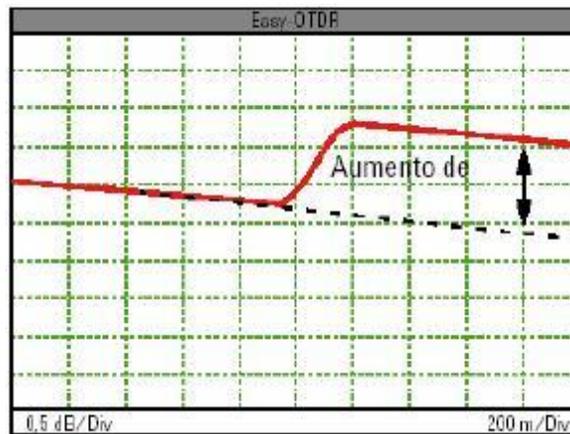


Figura 45 Ganancia por empalme

Esta gráfica de la **Figura 46** muestra un pulso, que es una reflexión causada por una fisura y por consiguiente viene una gran pérdida de energía.

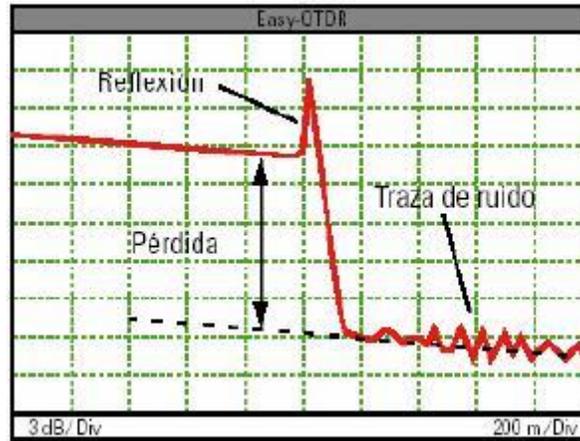


Figura 46 Reflexión por fisura

Principalmente el OTDR requiere de dos parámetros: el índice de refracción y el coeficiente de dispersión. El OTDR mide las distancias mediante el tiempo que transcurre entre la emisión de la luz y su reflexión.

La distancia que indique y el tiempo medido están relacionados por el índice de refracción. Parte de la luz que viaja se regresa para atrás, a esto se le llama retrodifusión.

El coeficiente de dispersión es una medida que sirve para saber cuánta luz se dispersa hacia atrás de la fibra, afecta tanto al valor de la pérdida de retorno, como a las mediciones de reflectancia. El coeficiente de dispersión se calcula como la relación entre la potencia del pulso de salida del OTDR y la potencia de retrodifusión en el extremo próximo de la fibra. Esta relación se expresa en dB y es inversamente proporcional al ancho del pulso [**SisTeFO**].

El OTDR funciona emitiendo pulsos de luz repetidos, con una duración igual casa pulso. La elección del ancho del pulso adecuado es básica para obtener los mejores resultados de una medición. El hecho de escoger mal un pulso para determinada distancia puede hacer que se pierda de vista sucesos en la gráfica.

Un pulso corto nos puede brindar una mayor resolución, sin embargo al realizar una medición dinámica (mayor alcance) con un pulso corto, se corre el riesgo de tener mucho ruido en la medición. En contra parte, si lo que queremos es hacer una medición de gran distancia, un pulso largo es lo que nos vendría bien, pero hay que tomar en cuenta que al promediar las mediciones, pasará más tiempo y por consiguiente la resolución será menor.

Dependiendo de la medición que se quiera realizar, ya sea alcance dinámico o resolución, se usara un pulso largo o corto, respectivamente.

Si se quiere medir el final (distancia) de una fibra, no importa lo que suceda en el camino, se usa un pulso largo; pero, si lo que se quiere es ver que pasa en el empalme de una fibra que hay un servidor y un ruteador por ejemplo, se usa un pulso corto, para ver detalle exacto a cortas distancias.

En las siguientes gráficas se puede apreciar la diferencia entre usar un pulso largo o un pulso corto, en la primera **Figura 47** se mide la fibra con un pulso largo y en la segunda **Figura 48** se hace con un pulso corto.

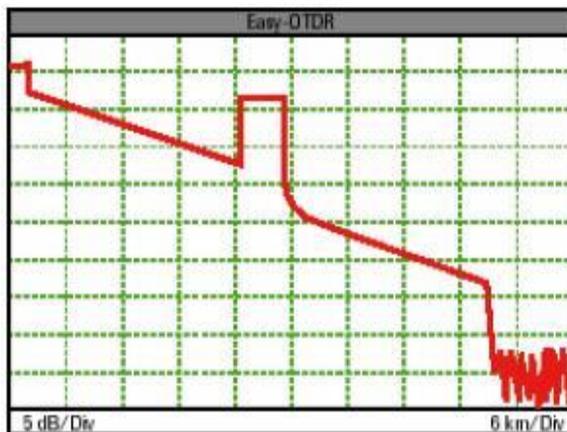


Figura 47 Pulso largo

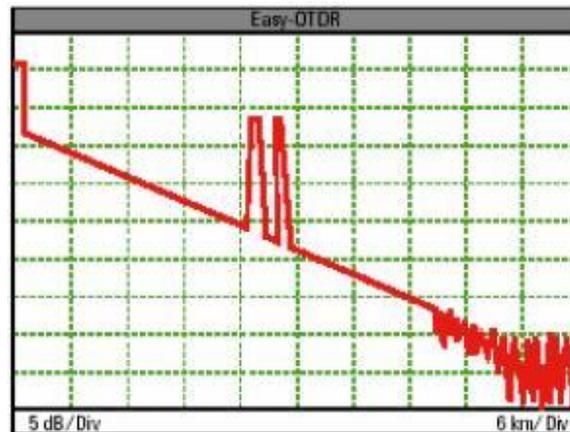


Figura 48 Pulso corto

7.3 Pruebas del enlace con el OTDR.

Ya que se sabe cómo interpretar las diferentes tipos de gráficas que puede presentar el OTDR, se procederá a hacer unas mediciones.

Las siguientes imágenes muestran una medición hecha a través del OTDR y descargada mediante su software a la PC.

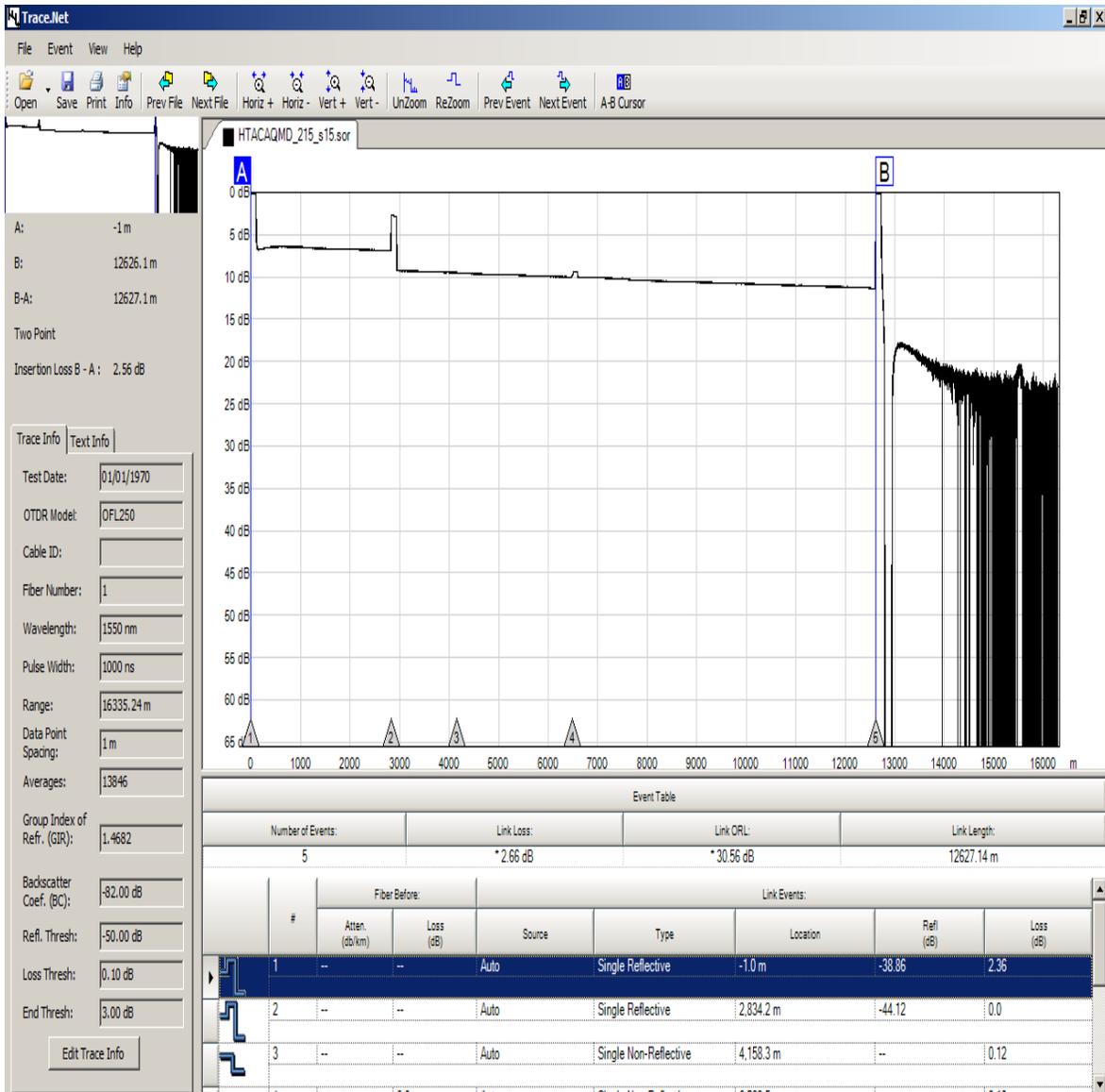


Figura 49 Gráfica del OTDR

La gráfica de la **Figura 49** muestra un recorrido total de la fibra de 12 kilómetros, también se pueden apreciar 3 eventos significativos.

El primer evento señalado con la banderilla 'A' se presenta a los 2.8 km del trayecto, se puede interpretar como una serie de conexiones mecánicas, de acuerdo a la distancia y con un recorrido en campo por la ruta de la fibra, se constato efectivamente que se trataba de conexiones mecánicas realizadas dentro de una subestación como un punto de paso.

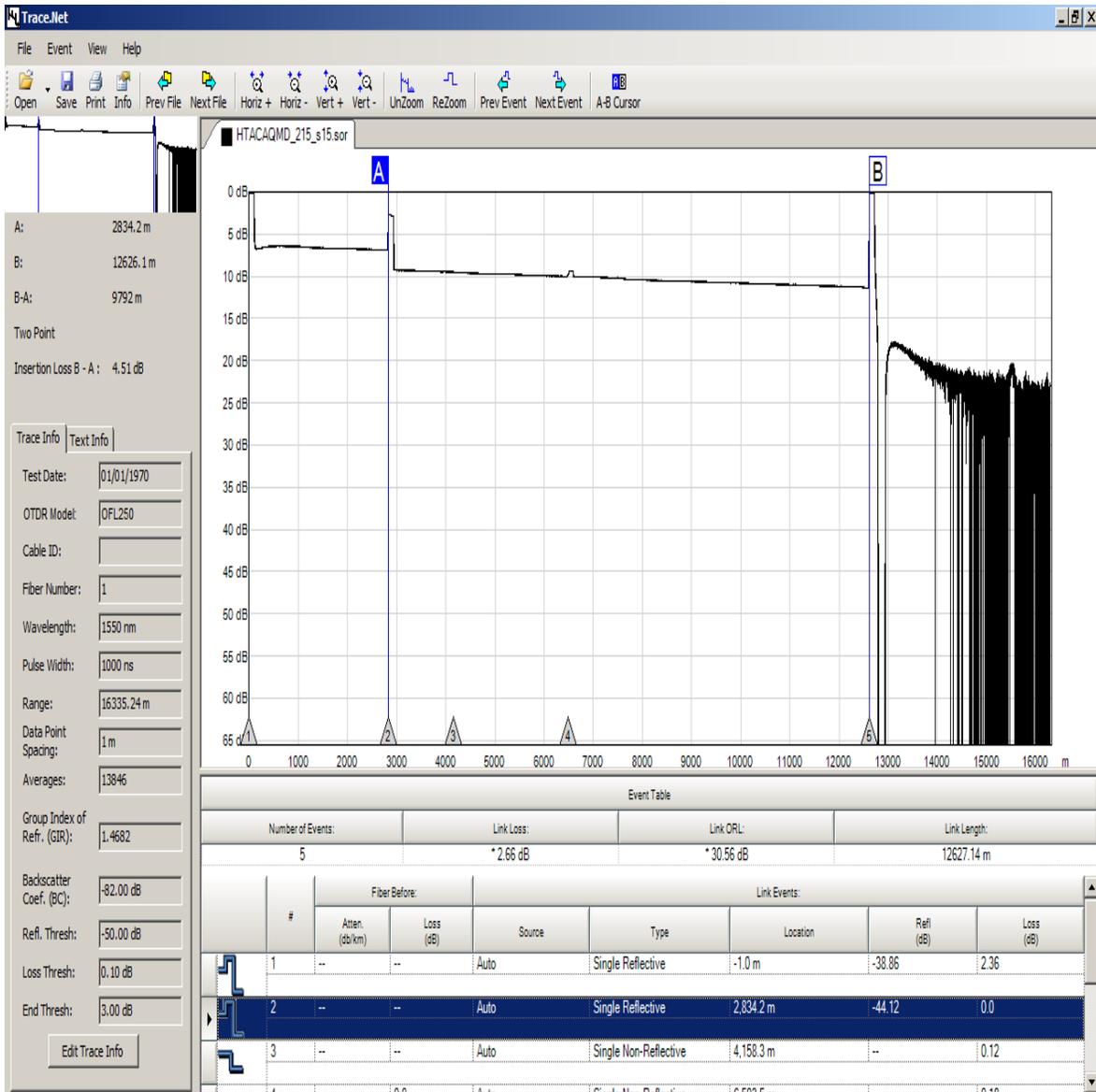


Figura 50 Gráfica del OTDR

El segundo evento lo muestra la **Figura 50**, se localizó a 4.1 km, como se puede apreciar, es menos significativo que el primero, lo que hace pensar que se trate de alguna unión, se confirmó a través del recorrido que se trata de una caja de empalme.

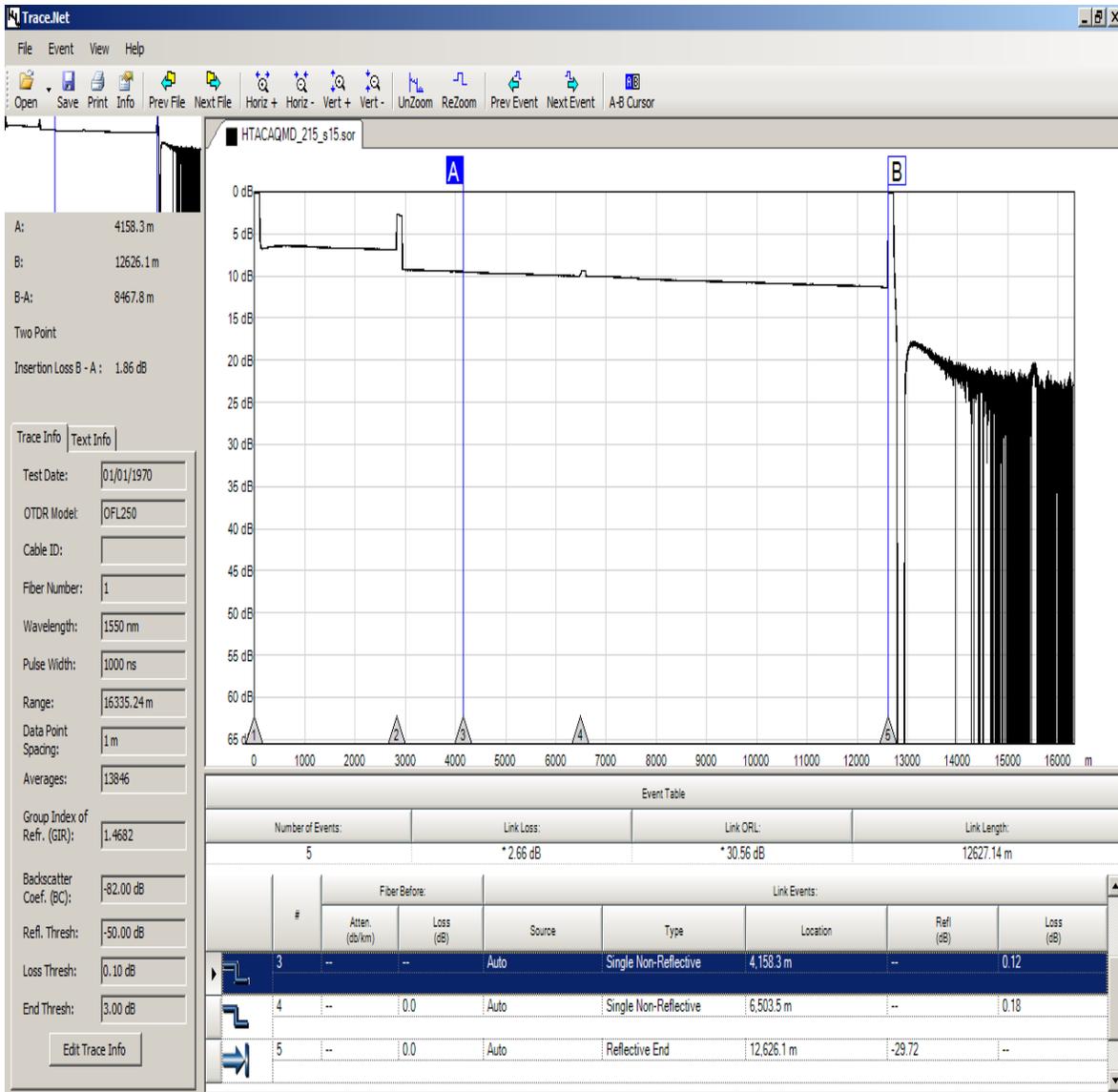


Figura 51 Gráfica del OTDR

El tercer y último evento, lo registra la **Figura 51**, se encuentra a 6.5 km, es más significativo que el segundo, pero menos que el primero, a través del recorrido, se pudo apreciar que ese evento que marcaba el OTDR, se trataba de otra subestación utilizada como punto de paso.

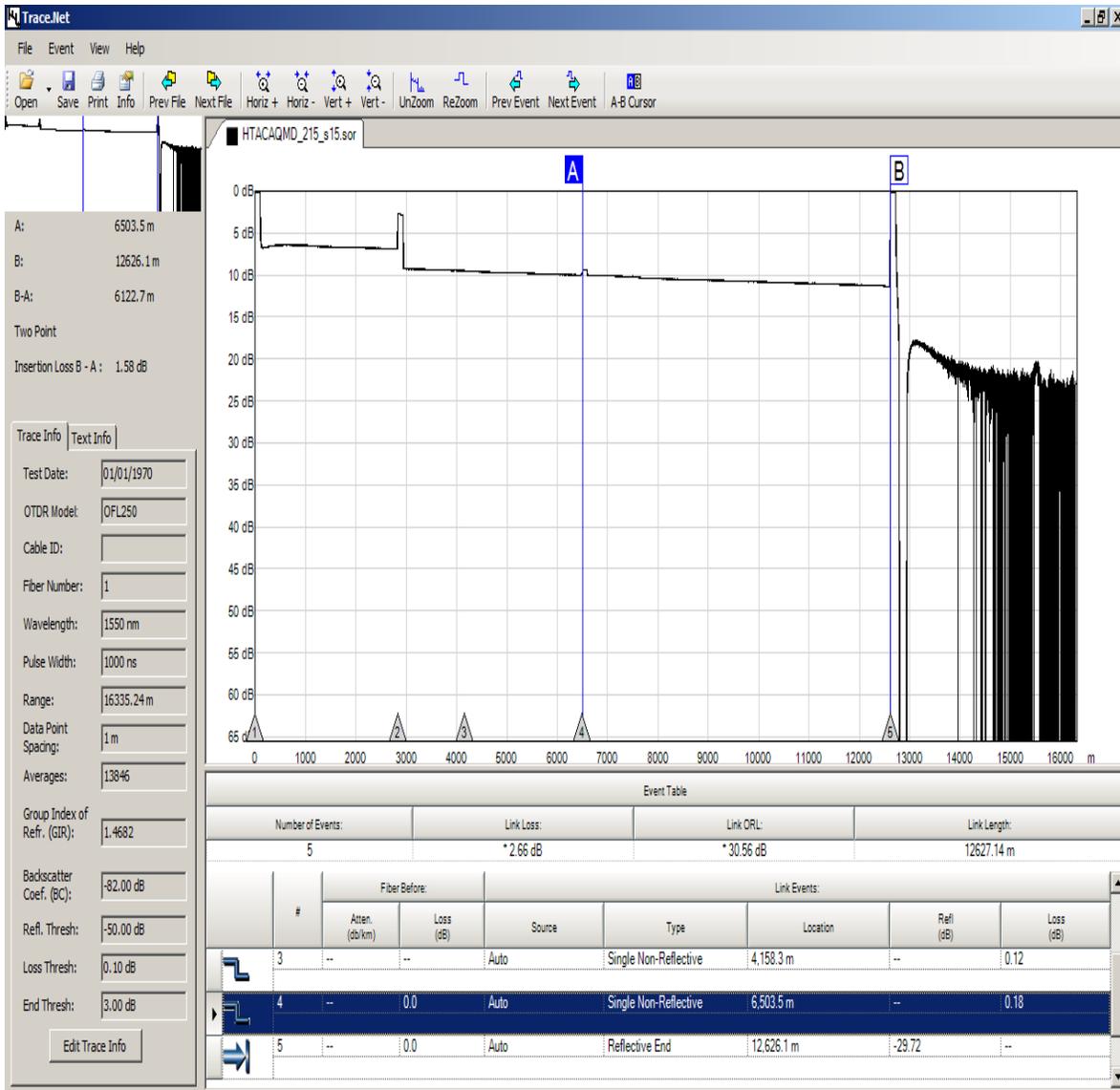


Figura 52 Gráfica del OTDR

Se pueden apreciar ligeros eventos en todo el trayecto de la fibra, en la **Figura 52** el cursor se sitúa sobre uno de estos eventos, esto se puede deber por dobleces de la fibra durante su instalación, pero no representan ningún riesgo mayor de pérdida, en general el trayecto se considera como el correcto para el enlace.

7.4 Validación del canal con equipo de medición.

Para validar que el canal tenga el ancho de banda con el que se solicitó se analizará con la medida RFC 2544, que es de reconocimiento internacional para describir el rendimiento o performance de un equipo bajo prueba (DUT, device under test).

La medida RFC 2544 define un número de pruebas que pueden ser utilizadas para describir y comparar las características de performance de dispositivos de interconexión de redes.

La manera ideal de implementar las pruebas es usar un equipo de prueba (tester) con puertos de transmisión y recepción, es la arquitectura recomendada, de esta forma el equipo de prueba puede determinar si todos los paquetes transmitidos fueron recibidos y verificar que los paquetes correctos sean recibidos [JDSUm].



Figura 53 Equipo de medición JDSU

El JDSU mostrado en la **Figura 53**, es un equipo de medición capaz de correr la medida RFC 2544, se utiliza para validar el ancho de banda de un canal, este equipo se conecta al puerto asignado en el nodo a través del cual se dará de alta el canal y se lanza la prueba, lo que hará el equipo es empezar a meter tráfico al canal, para así constatar el ancho de banda que tiene.

El JDSU almacena la prueba en un archivo en Excel, en el cual se genera una estadística del enlace, de las tramas enviadas y recibidas exitosamente.

Para validar el ancho de banda del canal de 1 GB que solicitó el cliente Cablemás en este proyecto se utilizó el JDSU como equipo de medición y la medida RFC 2544 como prueba para describir el rendimiento del mismo.

Cuando se trata de analizar enlaces con un ancho de banda como el de este servicio se configura el equipo de medición para que la prueba dure 24 horas.

Al finalizar el tiempo de duración de la prueba, el equipo mostró de forma general una pantalla de resultados "OK" como la de la **Figura 53**, con lo cual ya se considera como canal de comunicación que cumple con los estándares internacionales, de esta forma se da como concluido el trabajo y finalmente la entrega del servicio al cliente.

CAPÍTULO 8

Conclusiones

Capítulo 8: Conclusiones.

En este trabajo se llevó a cabo una descripción desde cuestiones teóricas hasta prácticas utilizadas en campo para lograr un enlace de fibra óptica.

Durante la edición de este trabajo se delimitó el campo de algunos de los subtemas y es que hablar sobre todo lo que involucra un enlace de fibra óptica abarca temas que son muy amplios, en este trabajo se plasmó lo primordial y más objetivo de cada uno de ellos para esta tesis.

Se abordaron subtemas que incluso podrían ser objeto de tema de tesis por si solos, por ejemplo la técnicas de codificación y la logística de cada una de ellas en el PCM, el mapeo en SDH para conformar la trama de un STM1, o incluso todas las cuestiones técnicas y prácticas para realizar los empalmes mecánicos o de fusión.

Se eligió una de las puestas en servicio en las que se ha intervenido, se describió todo lo que involucra este proceso y así compartir esta información, ya que son temas que son muy importantes para los que nos desempeñamos en el área de las comunicaciones.

Se estudió las propiedades de la luz y su propagación por el medio, las ventajas y desventajas de los sistemas de comunicación de fibra óptica y el auge que estas nuevas tecnologías están teniendo.

A pesar de que México es vecino de los Estados Unidos, no se emplea la tecnología SONET para los dispositivos de comunicaciones de fibra óptica, como lo hace la unión Americana.

En México se emplea la tecnología SDH, que es la que se emplea en Europa y en la mayor parte del mundo, resultado del origen de los fabricantes de los dispositivos de comunicaciones utilizados en el país, como lo son: Siemens de Alemania, Alcatel de Francia y ABB de Suiza.

Las técnicas para la instalación de fibra óptica que se describen en esta tesis, son las empleadas en la actualidad por los especialistas en esta tecnología.

Durante el tiempo que se llevó a cabo el tendido del cable de fibra óptica, se lidió con factores ajenos a la ingeniería que se planea para la instalación, como fue el caso de los ejidatarios que no permitían el acceso a algunas de las torres, circunstancias como esta retrasaron el proyecto.

En el texto se explica la técnica para realizar los empalmes de fusión, como sería en condiciones normales, pero en varias ocasiones se hizo en condiciones adversas, como fue en la calle, al pie de torres ubicadas en puntos alejados o incluso arriba de la estructura de la misma torre, en estos casos se toman precauciones para proteger el material y la herramienta en contra de agentes

como, el viento, el polvo o incluso insectos que podrían afectar la precisión del equipo.

Cuando ya se había terminado el proyecto de la instalación del cable de fibra óptica y se tenían ambos extremos en el Hotel de Acapulco y el de Chilpancingo, se configuraron los nodos para que se enlazaran, las pruebas de rendimiento del canal se hicieron con el equipo de medición JDSU, siendo exitosas.

Al final del proyecto el cliente Cablemás llegó al Hotel como huésped, donde instaló sus dispositivos, en donde se le entregó el par de fibras (transmisión y recepción) que lo enlazarían hasta la Ciudad de México, que es en donde había solicitado su servicio, como ya se vio los nodos permiten interconectar diferentes redes, es así como el enlace de Cablemás desde Acapulco hasta la Ciudad de México atraviesa otros hoteles en su recorrido, además del Hotel Chilpancingo.

Como se mostró anteriormente, el dispositivo 1660SM funciona como multi-servicio, lo que permitió que además del servicio de Cablemás, se pudieran montar las señales de más enlaces en el nodo para otros clientes a través de diferentes interfaces.

En la década pasada el internet en la mayoría de las veces se utilizaba para consulta de páginas que solo contenían texto, en la actualidad la demanda ha cambiado, con el auge de redes sociales, páginas de videos en línea, el aumento de usuarios, factores como estos hacen requerir de una red robusta que soporte el ancho de banda necesario.

Debido a la actual demanda de canales de comunicación con un gran ancho de banda, han hecho que la fibra óptica se profile como la mejor opción del medio de comunicación para redes robustas.

Los avances tecnológicos y la evolución en las técnicas de la instalación de la fibra óptica, han hecho que se tengas menos perdidas que las que se tenían antes.

La fibra óptica es un medio que todavía se puede seguir explotando, la única limitante que hay hasta el momento es el ancho de banda que permiten los dispositivos de transmisión.

CAPÍTULO 9

Líneas de investigación y trabajos futuros

Capítulo 9: Líneas de investigación y trabajos futuros.

Las líneas de investigación principales de este trabajo son las comunicaciones ópticas, los protocolos de comunicaciones, el diseño adecuado de hardware optoelectrónico, dentro del área de las redes de comunicaciones.

Como trabajo futuro se sugiere la descripción del proceso de un enlace por fibra óptica empleando el sistema de multiplexación DWDM (*Multiplexación por división en longitudes de onda densas, Dense wavelength Division Multiplexing*), como siguiente generación del SDH. Algunos dispositivos con esta tecnología se están comenzando a implementar en algunos estados del norte de la república, que además de ofrecer mayor ancho de banda, permitirían tener la señal de transmisión y recepción en una misma fibra. De tal modo que con esta tecnología será posible tener mayores capacidades con un menor número de cables de fibra. Los dispositivos que utilicen esta tecnología deberán de poder converger con los equipos SDH ya existentes que se encuentran operando.

Se sugiere también como trabajo futuro, la exploración de nueva tecnología y nuevas técnicas de instalación, así como la actualización de nuevos equipos, el cumplimiento de las normas y procedimientos de los estándares de calidad de los organismos especializados nacionales e internacionales. Otro aspecto relevante es el concerniente a la legislación para la creación de reglamentos, normas e instructivos técnicos de instalación de equipo optoelectrónico.

Anexo

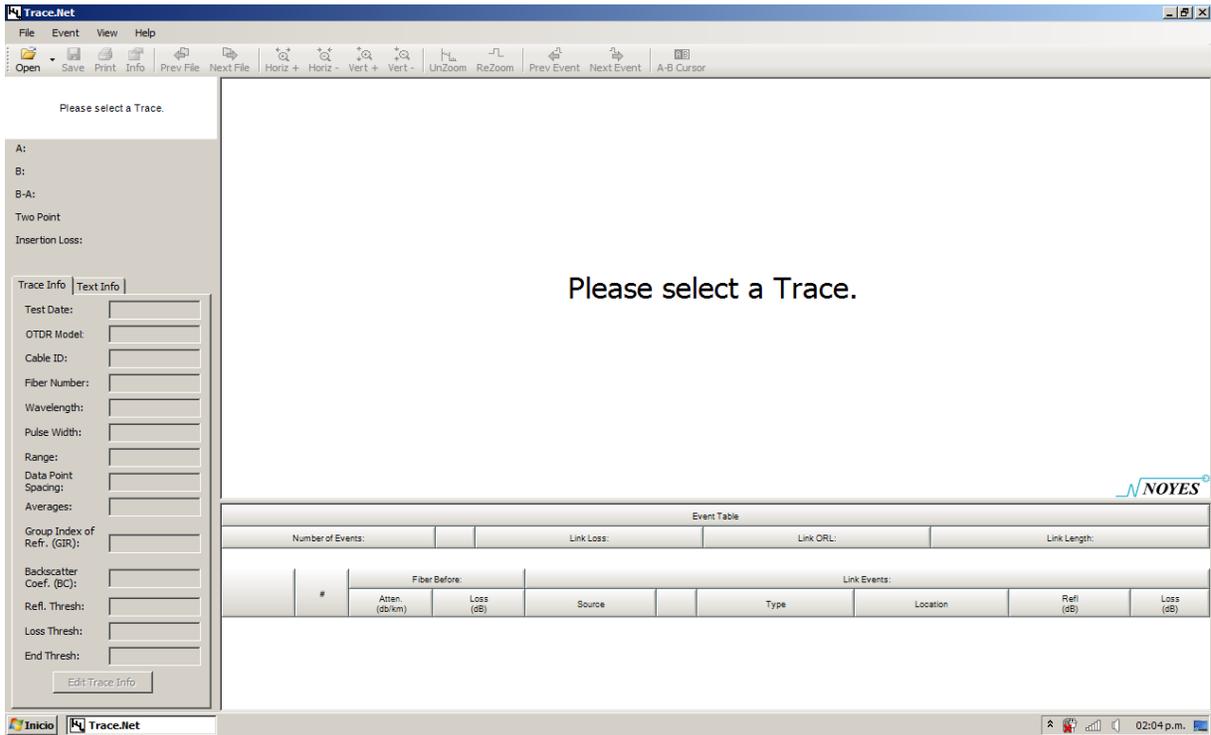
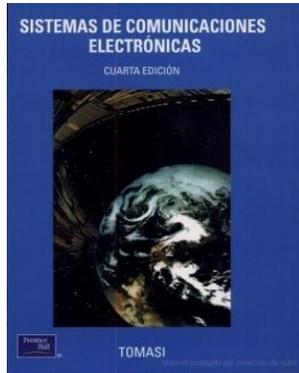


Figura 54 Trace.Net

El OTDR con el que se hicieron las mediciones cuenta con un software con el que se pueden descargar las pruebas para almacenarse y ser analizadas con más detalle, la **Figura 54** muestra la pantalla inicial de este software llamado TRACE.NET.

Referencias

[Tomassi]



Autor: Tomassi

Título: **Sistemas de Comunicaciones Electrónicas**

Edición: 4ª Edición, 11ª Reimpresión

Lugar y Año: México, 2003

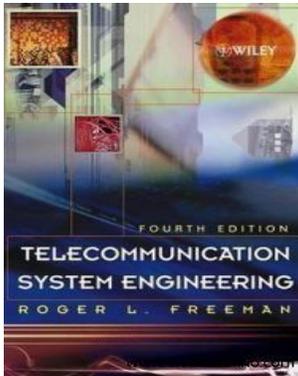
I.S.B.N.: 970-26-0316-1

Contenido: 976 páginas

Pp.: 4; 11; 23

Descripción: Libro acerca de los sistemas de comunicaciones electrónicas

[FreemanTele]



Autor: Roger L. Freeman

Título: **Telecommunication System Engineering**

Edición: 4ª Edición

Lugar y Año: New Jersey, 2004

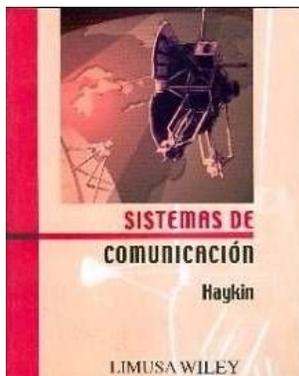
I.S.B.N.: 0-471-45133-9

Contenido: 991 páginas

Pp.: 23; 25

Descripción: Libro acerca de los sistemas de comunicaciones

[Haykin]



Autor: Simon Haykin

Título: **Sistemas de Comunicación**

Edición: 1ª Edición

Lugar y Año: México, 2006

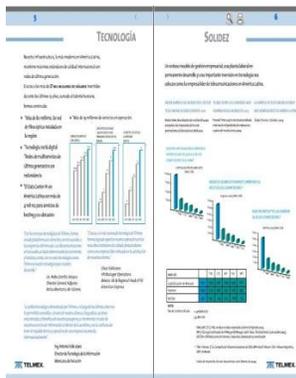
I.S.B.N.: 10-968-18-6307-0

Contenido: 816 páginas

Pp.: 12; 19; 21

Descripción: Libro acerca de los sistemas de comunicaciones electrónicas

[LTelmex]



Título: **Libro Telmex**

URL: http://www.telmex.com/pe/esto/telmex_book.html

Consultado: 26/09/2010 (16:54:21)

Pp.: 4

Descripción: Sección en el sitio oficial de Teléfonos de México en el cual se describe sus servicios

[CFEtlcm]



Tipo: Página Web

Título: **CFE Telecom**

URL: <http://www.cfetelecom.com.mx/Pages/Inicio.aspx>

Consultado: 09/02/2011 (21:48:14)

Pp.: 5

Descripción: Sitio oficial de la Comisión Federal de Electricidad unidad CFE Telecom

[CFEcsn]



Título: **Concesión SCT a CFE**

Autor: Dirección General de Comunicación Social

Tamaño: 37 KB

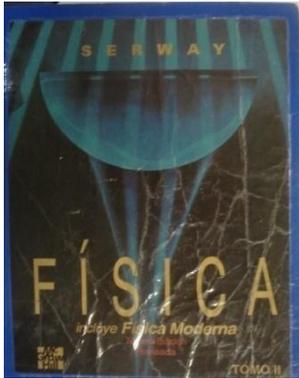
Contenido: 2 páginas

Extensión: PDF

Pp.: 5

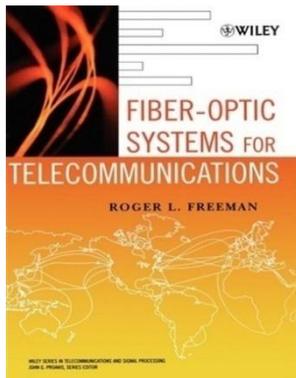
Descripción: Archivo oficial sobre el otorgamiento de la SCT a la CFE de la concesión de una red pública de telecomunicaciones

[Serway]



Autor: Raymond A. Serway
Título: **Física**
Edición: 3ª Edición
Lugar y Año: México, 1995
I.S.B.N.: 0-03-031353-8
Contenido: 1463 páginas
Pp.: 10; 18
Descripción: Libro de Física para estudiantes de ciencias o ingeniería

[FreemanFO]



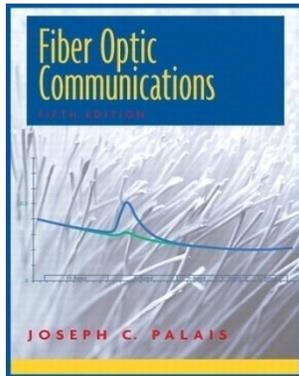
Autor: Roger L. Freeman
Título: **Fiber-Optic Systems for Telecommunications**
Edición: 1ª Edición
Lugar y Año: Estados Unidos de América, 2002
I.S.B.N.: 0-471-41477-8
Contenido: 390 páginas
Pp.: 12; 19
Descripción: Libro acerca de los sistemas de comunicaciones vía fibra óptica

[TecSDH-PDH]



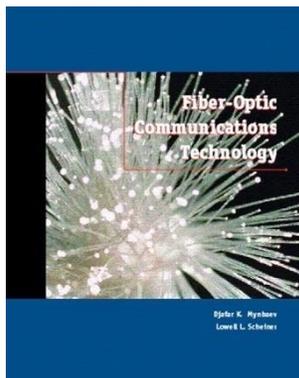
Autor: Ing. Sergio Chávez Cortés
Título: **Tecnologías de transporte PDH-SDH**
Lugar y Año: México, 2010
Contenido: 83 páginas
Pp.: 28; 31; 33; 38; 39
Descripción: Manual utilizado durante el curso denominado "Tecnologías de Transporte PDH-SDH"

[Palais]



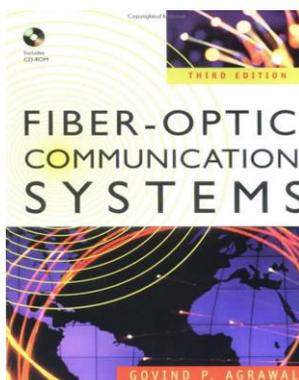
Autor: Joseph C. Palais
Título: **Fiber Optic Communications**
Edición: 5° Edición
Lugar y Año: Upper Saddle River, New Jersey, 2005
I.S.B.N.: 0-13-008510-3
Contenido: 441 página
Pp.: 13; 20
Descripción: Libro acerca de los sistemas de comunicaciones vía fibra óptica

[MynbaevSchei]



Autor: Djafar K. Mynbaev y Lowell L. Scheiner
Título: **Fiber-Optic Communications Technology**
Edición: 1° Edición
Lugar y Año: Estados Unidos de América, 2001
I.S.B.N.: 0-13-962069-9
Contenido: 750 páginas
Pp.: 13; 14
Descripción: Libro acerca de los sistemas de comunicaciones vía fibra óptica

[Agrawal]



Autor: Govind P. Agrawal
Título: **Fiber-Optic Communication Systems**
Edición: 3° Edición
Lugar y Año: New York, 2002
I.S.B.N.: 0-471-21571-6
Contenido: 546 páginas
Pp.: 13; 14; 21; 26
Descripción: Libro acerca de los sistemas de comunicaciones vía fibra óptica

[SisTeFO]



Título: **Sistemas de Telecomunicaciones vía Fibra Óptica**

Lugar y Año: México, 2010

Contenido: 64 páginas

Pp.: 25; 62; 72; 77

Descripción: Manual utilizado durante el curso denominado "Sistemas de Telecomunicaciones vía Fibra Óptica"

[IEfo]



Autor: Eric R. Pearson

Título: **Instalaciones Exitosas de Fibra Óptica**

Lugar y Año: Estados Unidos de América, 2006

I.S.B.N.: 0-9769754-1-6

Contenido: 359 páginas

Pp.: 19; 55; 62; 68

Descripción: Manual publicado por Pearson Technologies Inc

[JDSUm]



Autor: JDSU

Título: **SmartClass User's Guide**

Tamaño: 1945 KB

Contenido: 98 páginas

Extensión: PDF

Pp.: 83

Descripción: Manual del equipo de medición JDSU

Glosario

ADM 1660SM: Dispositivo Add-Drop Multiplexer que implementa la tecnología SDH definida en las recomendaciones ITU-T G.707.

ADSL: Del inglés *Asymmetric Digital Subscriber Line*, que se refiere a línea de abonado digital asimétrica, consiste en una transmisión analógica de datos digitales apoyada en el par simétrico de cobre que lleva la línea telefónica.

AMI: Del inglés *Alternate Mark Inversion*, por sus siglas en inglés, corresponde a un tipo de codificación que representa a los "unos" con impulsos de polaridad alternativa y a los "ceros" mediante ausencia de pulsos.

Angulo Crítico: Angulo de incidencia de un medio más denso a otro menos denso, en donde toda la luz es refractada a lo largo de la interface. Cuando el ángulo crítico se excede, la luz se refracta completamente.

Angulo de Reflexión: Es el ángulo entre la normal a la superficie reflectora y el rayo reflejado.

Angulo Incidente: Angulo entre la normal a la superficie reflectora o refractora y el rayo incidente.

ANSI: Del inglés *American National Standards Institute*, se refiere al Instituto Nacional Americano de Normas, es la organización que supervisa el desarrollo de estándares para productos, servicios, procesos y sistemas en los Estados Unidos de América.

APD: Fotodiodos de avalancha, son fotodetectores que se pueden considerar como el equivalente semiconductor de los fotomultiplicadores.

Apertura Numérica: Medida de la propiedad de aceptación de luz en una fibra óptica. Raíz cuadrada de la diferencia de los cuadrados de los índices de refracción del núcleo y revestimiento.

ATM: Del inglés *Asynchronous Transfer Mode*, que se refiere a un modo de transferencia asíncrona, técnica de transmisión de información en forma de cortos paquetes.

AU: *Unidad Administrativa*, es un elemento del mapeo de SDH, consiste de un contenedor virtual de alto orden o sea con un valor igual a 3 o 4 al que se le ha agregado el apuntador de la unidad administrativa correspondiente para indicar el alineamiento de fase del contenedor virtual VC-n con respecto al apuntador del STM1.

AUG: *Grupo de Unidad Administrativa*, es un elemento del mapeo SDH, consiste en un conjunto homogéneo de elementos formados por las unidades administrativas AU.

B8ZS: Del inglés *Bipolar 8-Zero Substitution*, sustitución bipolar de 8 ceros, método de codificación que consiste en insertar dos veces sucesivas al mismo voltaje, refiriéndose a una violación bipolar en una señal donde ocho ceros consecutivos sean transmitidos.

CANITEC: *Cámara Nacional de la Industria de Telecomunicaciones por Cable*, es el órgano de representación empresarial que agrupa a los concesionarios de redes públicas de telecomunicaciones que proveen servicios de televisión por cable, Internet, telefonía y transmisión de datos, en la República Mexicana.

CFE: Comisión Federal de Electricidad, empresa del gobierno mexicano que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica.

CFE Enlaces: Son los servicios de telecomunicaciones que presta CFE Telecom, consistentes en la infraestructura que permite la conexión privada punto para uso exclusivo del cliente, sin límite de utilización y sin restricción de horarios.

CFE Telecom: Unidad de negocios de la CFE responsable de la comercialización de los servicios de telecomunicaciones especificados en el título de concesión otorgado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Clear Channel: Modalidad en la que CFE Telecom provee un enlace dedicado para que el cliente maneje el protocolo de comunicación que sea de su conveniencia.

Empalme de fusión: Técnica para lograr unir dos fibras fundiéndolas a través de un arco eléctrico.

Ethernet: Protocolo disponible de CFE Enlaces en el que también se puede proporcionar el servicio al cliente.

FDM: Siglas del inglés *Frequency Division Multiplexing*, que se refiere a la multiplexación por división de frecuencia, es una técnica generalmente en los sistemas analógicos que permite transmitir muchos canales de banda relativamente angosta por un solo sistema de transmisión de banda ancha.

FO: *Fibra Óptica*, siglas con las que se suele referirse al concepto de fibra óptica.

HDB3: Del inglés *High Density Bipolar 3*, es un método de codificación que consiste en limitar el número de ceros consecutivos que se pueden transmitir, no admite más de 3 ceros consecutivos, coloca un impulso positivo o negativo en lugar del 4º cero.

Hoteles Telecom: Es el servicio de sitios de conexión, en donde los clientes se les proporciona la conectividad y pueden disponer de un espacio para alojar sus dispositivos.

ILD: Del inglés *Injection Laser Diode*, que se refiere al diodo de inyección láser.

ITU: Del inglés *International Telecommunication Union*, Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, organismo especializado de la Organización de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras.

Jitter: Fluctuación de fase en una señal digital, son variaciones en el tiempo no acumulativas de corta duración de los instantes de tiempo de la señal digital a partir de su posición ideal en el tiempo.

LED: Del inglés *Light Emitting Diode*, diodo emisor de luz.

Multi-servicio: Capacidad de proporcionar más de un servicio simultáneamente.

NRZ: Del inglés *No Return to Zero*, no retorno a cero, se refiere a un método de codificación en el que la señal siempre tiene un nivel positivo o negativo.

OSI: Del inglés *Open System Interconnection*, se refiere al modelo de interconexión de sistemas abiertos.

Path: En telecomunicaciones se refiere a una ruta física o trayecto.

PAM: Del inglés *Pulse Amplitude Modulation*, modulación de amplitud de impulsos, se refiere a un método de transmisión digital en donde la señal moduladora puede variar la amplitud de un tren de impulsos.

PCM: Del inglés *Pulse Code Modulation*, modulación por codificación de impulsos, método de modulación utilizado para transformar una señal analógica en una señal digital.

PDH: Del inglés *Plesiochronous Digital Hierarchy*, jerarquía digital plesiócrona, tecnología usada en telecomunicaciones que permite enviar varios canales en un mismo medio como la fibra óptica.

PDM: Del inglés *Pulse Duration Modulation*, modulación por duración de impulsos, se refiere a un método de transmisión digital en donde la señal moduladora puede variar la duración de impulsos.

PPM: Del inglés *Pulse Position Modulation*, modulación de posición de impulsos, se refiere a un método de transmisión digital en donde la señal moduladora puede variar la posición de impulsos.

Reflectancia: Tasa del flujo reflejado al flujo incidente. Este término se aplica al flujo luminoso.

Reflexión: Fenómeno que se da cuando un rayo de luz choca contra una superficie lisa o pulida. Es el retorno del rayo por el choque con la superficie.

Reflexión interna total: Reflexión que se da cuando el ángulo de incidencia se excede al ángulo crítico.

Revestimiento: Protector externo del cable, que recubre la fibra dentro del cable.

Quantum: Del latín, que representa una cantidad de algo, es decir quantum es una proporción hecha por la magnitud dada.

RZ: Del inglés *Return to Zero*, retorno a cero, que se refiere a un método de codificación, en donde utiliza tres valores: positivo, negativo y cero.

SCT: Siglas de la *Secretaría de Comunicaciones y Transportes*, es la secretaría de estado que regula las comunicaciones y transportes de México según la ley orgánica de la seguridad pública.

SDH: Del inglés *Synchronous Digital Hierarchy*, jerarquía digital síncrona, tecnología de los sistemas de transmisión que soporten ancho de banda elevado como consecuencia de la utilización de la fibra óptica como medio de transmisión.

Site: En telecomunicaciones se refiere al sitio donde se encuentran los dispositivos activos de una red.

SONET: Del inglés *Synchronous Optical Network*, estándar para el transporte de telecomunicaciones en redes de fibra óptica.

TDM: Del inglés *Time Division Multiplexing*, multiplexaje por división de tiempo, método utilizado para combinar canales múltiples de 64 kbs dentro de una trama de alta velocidad.

Telecomunicaciones: Consiste en la comunicación a distancia, es toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, datos, imágenes, voz, sonidos o información de cualquier naturaleza que se efectúa a través de cables, radioelectricidad, medios ópticos, físicos u otros sistemas electromagnéticos.

TU: *Unidad Tributaria*, es un elemento del mapeo SDH, consiste de contenedores virtuales junto con el apuntador de la unidad tributaria, tiene la función de señalar el alineamiento de fase correspondiente al contenedor virtual n respecto al encabezado del contenedor virtual de mayor nivel.

TUG: *Grupo de Unidad Tributaria*, es un elemento del mapeo SDH, consiste en un conjunto homogéneo de elementos formados por las unidades tributarias TU.

VC: *Contenedor Virtual*, es un elemento del mapeo SDH, está conformado por un contenedor sencillo y el encabezado de trayecto.

Acerca del autor

Luis Alberto Duarte Díaz nace el 24 de abril de 1986, ingresa a la Universidad Americana de Acapulco (UAA) en agosto del 2004, a la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, toma los cursos de certificación CISCO, CCNA 1: Networking Basics 3.1 y CCNA 2: Routers and Routing Basics 3.1, en el 2008 asiste al XVIII Congreso Interuniversitario de Electrónica, Computación y Eléctrica (CIECE) y a la XXXII reunión nacional del Comité de Informática de la Administración Pública Estatal y Municipal (CIAPEM), al congreso de la Cámara Nacional de la Industria de Telecomunicaciones por Cable (CANITEC) en la Ciudad de México, en el año del 2009 concluye sus estudios universitarios, trabajó un par de meses en el área técnica de la empresa Cablemás. En enero del 2010 se incorpora a trabajar a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), en la Subárea de Transmisión Guerrero como profesionista en fibra óptica, labor en la que se desempeña hasta la actualidad.

Acerca del asesor

Francisco Narcés Dávila Zurita nace en Acapulco, Gro. en 1975. Simultáneamente cursa sus dos licenciaturas, la Ingeniería en Sistemas Electrónicos (ITESM-Campus Morelos) y Licenciatura en Matemática Educativa (FacMat-UAG). La multidisciplinariedad de su formación le lleva a alcanzar tres masters en áreas académicas, técnicas y administrativas. Actualmente estudia su segundo Doctorado.

Es fundador de ramas estudiantiles y de profesionistas en la IEEE sección Morelos y sección Acapulco. Laboralmente, formó parte del apoyo técnico al Centro Estatal de Oftalmología (CAPSE-SSA), del Centro Nacional del Control de la Energía de la Comisión Federal de la Electricidad y actualmente es docente en dos instituciones de nivel superior y postgrado, así como presidente estatal de la Academia de Electrónica en la DGETI. Además colabora de manera ininterrumpida en programas de licenciatura y postgrado de tres instituciones particulares de nivel superior. Ha sido director de tesis de nivel Licenciatura y postgrado y jurado en concursos y congresos estatales y nacionales. Ha formado parte de diversas comisiones dictaminadoras, de reformas a planes y programas de estudio y formado parte de delegaciones sindicales. Escribe artículos de divulgación, científicos y técnicos en revistas locales, estatales e internacionales y asiste periódicamente a congresos de actualización y formación, que van desde la matemática, la ingeniería, la didáctica y la religión.