

**SEGURIDAD Y GESTIÓN EN ARQUITECTURAS ÓPTICAS DE
COMUNICACIÓN DE DATOS**

LUIS FERNANDO ABRIL RINCON

**UNIVERSIDAD LIBRE
PROGRAMA DE INGENIERIA DE SISTEMAS
BOGOTA
MARZO/ 2013**

**SEGURIDAD Y GESTIÓN EN ARQUITECTURAS ÓPTICAS DE
COMUNICACIÓN DE DATOS**

LUIS FERNANDO ABRIL RINCON

Director Ingeniero Eduardo Triana

**Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título
profesional de ingeniero de sistemas**

**UNIVERSIDAD LIBRE
PROGRAMA DE INGENIERIA DE SISTEMAS
BOGOTA
MARZO/ 2013**

CERTIFICACIÓN DE REVISIÓN

El director del programa ratifica con su firma el cumplimiento de la normatividad de calidad estipulada y registra la calificación asignada por el jurado calificador

Calificación

Ing. Pedro Alonso Forero S.
Director Programa

Ing. Eduardo Triana
Director de Jurado

Jurado Calificador

Jurado Calificador

Bogotá D.C., Marzo 6 de 2013

AGRADECIMIENTOS

Primordialmente agradecemos a esta institución puesto fue la que nos brindó los conocimientos que nos permitió el desarrollo de nuestro proyecto, a los profesores que nos brindaron su sabiduría en varios campos del conocimiento ayudándonos así en varios aspectos que requerimos para el desarrollo de nuestro proyecto.

También damos gracias a nuestros compañeros de clase que de varias maneras siempre estuvieron acompañándonos y ayudándonos en los momentos que requeríamos ayuda, por compartir conocimientos con nosotros, por vivir y compartir vivencias con nosotros y darnos enseñanzas y experiencias.

DEDICATORIA

Principalmente dedicamos este trabajo a nuestros padres puesto que nos brindaron siempre apoyo y fortaleza incondicional en el desarrollo y transcurso de este proceso ayudándonos a concluir satisfactoriamente este proyecto.

Dedicamos a Dios puesto que nos brinda sabiduría, amor y paciencia, quien nos ayuda en los momentos más difíciles brindándonos valores que nos fortalezcan no solo como trabajo de grupo, si no como personas.

También dedicamos a nuestro director de proyecto quien nos dio su sabiduría para la elaboración total de nuestro proyecto asiendo así posible el desarrollo totalmente de este.

CONTENIDO

GLOSARIO.....	10
CAPITULO 1	17
1.1. PROBLEMA A ESTUDIAR.....	17
1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS.....	17
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	17
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3. ESCENARIO CONTEXTUAL DE DESARROLLO.....	18
1.4. JUSTIFICACIÓN	18
1.5. RESULTADO ESPERADOS	18
1.6. METODOLOGÍA	19
1.7. ESCENARIO TEÓRICO DE OPERACIÓN	20
CAPITULO 2	21
2.1. MEDIOS DE COMUNICACIÓN.....	21
2.1.1. CONECTORES	22
2.1.2. PARAMETROS DE OPERACIÓN	26
2.1.3. DISTORCIONANTES	27
2.2. FISICA DE LA LUZ.....	28
2.2.1. OPERACIONALIDAD DE LA LUZ	30
2.2.2. ASOCIATIVIDAD FUNCIONAL	31
2.3. PROPAGACION DE LA LUZ	32
2.3.1. REFRACCIÓN.....	33

2.3.2.	LEY DE SNELL.....	33
2.3.3.	ANGULO CRÍTICO.....	34
2.4.	MEDIOS DE COMUNICACIÓN.....	36
2.5.	LA FIBRA ÓPTICA: ASPECTOS ESTRUCTURALES	37
2.5.1.	FUENTES DE LUZ	37
2.5.1.1.	DIODOS EMISORES DE LUZ	38
2.5.1.2.	DIODOS DE INYECCIÓN LASER	41
2.5.2.	SISTEMA DE ENLACE ÓPTICO.....	42
2.5.3.	ESTRUCTURA DE LA FIBRA	44
2.5.4.	PERFIL DE INDICE	45
2.5.4.1.	FIBRA DE INDICE DE ESCALON SENCILLO.....	46
2.5.4.2.	FIBRA DE INDICE DE ESCALON MULTIMODO.....	47
2.5.4.3.	FIBRA DE INDICE GRADUADO MULTI MODO	47
2.5.5.	GENERACION OPERACIONAL.....	47
2.5.6.	PERDIDAD DE TRANSICIÓN	48
2.5.7.	DIFUSIÓN DE PULSO	50
CAPITULO 3	51
3.1.	ESTRUCTURA HARDWARE.....	51
3.1.1.	PATAFORMA CONVENCIONAL.....	51
3.1.2.	HARDWARE ESPECIALIZADO	52
3.1.2.1.	FILTROS.....	52
3.1.2.2.	FILTRO MACH-ZEHNDER	53
3.1.2.3.	FILTRO ACUSTO – OPTICO.....	54
3.1.2.4.	FILTROS AWG	56

3.1.2.5.	CONMUTADORES ESPACIALES	57
3.1.2.6.	CONECTORES DE LONGITUD DE ONDA	58
3.2.	REDES DE ACCESO ÓPTICO	62
3.2.1.	ESQUEMA FUNCIONAL RED ÓPTICA	64
3.2.1.1.	NODO DE TRANSFERENCIA ASÍNCRONO (ATM).....	70
3.2.1.2.	TECNOLOGÍA MPLS	72
3.2.1.3.	ARQUITECTURA FC	73
3.2.2.	MODALIDAD DE ACCESO FTTX	75
3.3.	PARAMETRIZACIÓN OPERACIONAL.....	78
3.3.1.	ESQUEMAS DE CONFIGURACIÓN	79
3.3.2	TIPOLOGIA DE ENLACES.....	80
3.3.3	ENCADENAMIENTO Y ASIGNACIÓN	82
3.3.4	MODELO ASON (AUTOMATICALLY SWITCHED OPTICAL NETWORKS).....	90
3.3.5.	PROCESOS DE GESTIÓN	96
3.3.6.	SEGURIDAD EN REDES OPTICAS	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Conector RJ-45	22
Figura 2: Conectores convencionales AUI/BNC.....	23
Figura 3: Conector básico EIM232D (cont 1)	24
Figura 4: Conector básico LPT1	25
Figura 5: Conectores ópticos.....	26
Figura 6: Refracción de la luz.....	33
Figura 7: Ley de Snell	35
Figura 8: Tipo de juntas P y N.....	38
Figura 9: Tipos de Conexión	39
Figura 10: Homounión y Heterounión.....	40
Figura 11: Asociación P-T- I.....	41
Figura 12: usos prácticos LED	42
Figura 13: Construcción y Operación ILD	43
Figura 14: Estructura enlace óptico	44
Figura 15: Estructura física de la fibra.....	45
Figura 16: Fibra de escalón sencillo	47
Figura 17: Generación operacional	48
Figura 18: Hardware óptico convencional	52
Figura 19: Filtros ópticos	53
Figura 20: Difracción de Bragg.....	54
Figura 21: Filtro Mach- Zehnder	55
Figura 22: Filtro acusto óptico	56
Figura 23: Estructura de conmutador óptico.....	58
Figura 24: Detección de ondas.....	59
Figura 25: Funcionalidad de los WC	60
Figura 26: Conversor opto eléctrico	61
Figura 27: Conversión interferométrica y por mezclado	62
Figura 28: Segmentación de capas SDH	65
Figura 29: Configuración de redes SDH.....	68
Figura 30: Interfaces ISLVU	69
Figura 31: Distribución de capas ATM	71
Figura 32: Segmentación de Cabecera ATM	72
Figura 33: Configuración FTTH.....	76
Figura 34: Estructura Redes Híbridas HFR	79
Figura 35: Esquemas Básicos de Configuración.....	81
Figura 36: Tipología de esquemas de conexión.....	83
Figura 37: Enlace de anillo WDM	84
Figura 38: Enlace con Distribución DE HUB.	85
Figura 39: Problema de enlace Óptico a Resolver	86
Figura 40: Solución de conectividad Óptica	87
Figura 41: Distribución planar fotónica	92

Figura 42: Funcionalidad plano de control	92
Figura 43: Operatividad ASON.....	95
Figura 44: Componentes red óptica interoceánica	96
Figura 45: Discriminación de gestión óptico	98
Figura 46: Proteccion con esquema de anillo.....	100

GLOSARIO

ATM:

Asynchronous transfer mode, es una tecnología de switching basada en unidades de datos de un tamaño fijo de 53 bytes llamadas celdas. atm opera en modo orientado a la conexión, esto significa que cuando dos nodos desean transferir deben primero establecer un canal o conexión por medio de un protocolo de llamada o señalización. una vez establecida la conexión, las celdas de atm incluyen información que permite identificar la conexión a la cual pertenecen.

CABLE SUBMARINO:

Es un cable submarino que esta formado por conductores de cobre o fibras ópticas, instalado sobre el lecho marino y destinado fundamentalmente a servicios de telecomunicación.

CAPA FÍSICA:

Realiza a las transformaciones que se hacen a la secuencia de bits para transmitirlos de un lugar a otro. Siempre los bits se manejan dentro del PC como niveles eléctricos.

CONTROL:

es un enfoque de la seguridad en redes de computadoras que intenta unificar la tecnología de seguridad en los equipos finales (tales como antivirus, prevención de intrusión en hosts, informes de vulnerabilidades), usuario o sistema de autenticación y reforzar la seguridad de la red de acceso.

DIFRACCIÓN:

Se denomina difracción de una onda a la propiedad que tienen las ondas de rodear los obstáculos en determinadas condiciones. Cuando una onda llega a un obstáculo (abertura o punto material) de dimensiones similares a su longitud de onda, ésta se convierte en un nuevo foco emisor de la onda.

FTTH

(*Fiber To The Home*), también conocida como fibra hasta el hogar, se basa en la utilización de cables de fibra óptica y sistemas de distribución ópticos adaptados a esta tecnología para la distribución de servicios avanzados, como el Triple Play, telefonía, Internet de banda ancha y televisión, a los hogares y negocios de los abonados.

FIBER TO THE CABINET:

La fibra termina en una central del operador de telecomunicaciones que presta el servicio, suele estar más lejos de los abonados que en FTTH y FTTB, típicamente en las inmediaciones del barrio

FIBER TO THE CURB:

Es un sistema en banda base el mecanismo de multiplexado para repartir la información a los usuarios se realiza con técnicas TDM.

FTTB:

(Del inglés *Fiber to the building* o *Fiber to the basement*). En FTTB o fibra hasta la acometida del edificio, la fibra normalmente termina en un punto de distribución intermedio en el interior o inmediaciones del edificio de los abonados. Desde este punto de distribución intermedio, se accede a los abonados finales del edificio o de la casa mediante la tecnología VDSL2 (Very high bit-rate Digital Subscriber Line 2) sobre par de cobre o Gigabit Ethernet sobre par trenzado CAT5. De este modo, el tendido de fibra puede hacerse de forma progresiva, en menos tiempo y con menor coste, reutilizando la infraestructura del edificio del abonado.

GESTIÓN:

Consiste en monitorizar y controlar los recursos de una red con el fin de evitar que esta llegue a funcionar incorrectamente degradando sus prestaciones.

HYTLER:

Lamina protectora que se asocia como disipadora de distorción para garantizar la integridad en la fibra.

ITU:

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el organismo especializado de Telecomunicaciones de la Organización de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras.

IAB:

Es una asociación internacional sin fines de lucro, se dedica exclusivamente a fomentar la utilización y maximizar la efectividad de la publicidad por internet.

IETF:

Fuerza de Tareas de Ingeniería de Internet es una organización internacional abierta de normalización, que tiene como objetivos el contribuir a la ingeniería de Internet, actuando en diversas áreas, como transporte, encaminamiento, seguridad. Fue creada en EE. UU. en 1986. La IETF es mundialmente conocida por ser la entidad que regula las propuestas y los estándares de Internet, conocidos como RFC.

IESG:

Grupo de Dirección de Ingeniería de Internet), es un grupo voluntario bajo la ISOC que se encarga de considerar los estándares propuestos por el Internet Engineering Task Force (IETF), mismos que posteriormente pueden ser establecidos por el Internet Architecture Board (IAB).

KEVLAR:

Fibras producidas por síntesis química que se usan para el refuerzo de los de plásticos. Las fibras de aramida tienen en su estructura lineal de poliamida arimática (tipo anillo de bencenos).

LASER:

(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación. Dispositivo que utiliza un efecto de la mecánica cuántica, la emisión inducida o estimulada, para generar un haz de luz (también llamado láser) coherente de un medio adecuado y con el tamaño, la forma y la pureza controlados. Un láser es un haz de luz colimado, monocromático y coherente.

LED:

LED es la abreviatura en lengua inglesa para Light Emitting Diode, Un LED consiste en un dispositivo que en su interior contiene un material semiconductor que al aplicarle una pequeña corriente eléctrica produce luz. La luz emitida por este dispositivo es de un determinado color que no produce calor, por lo tanto, no se presenta aumento de temperatura como si ocurre con muchos de los dispositivos comunes emisores de luz.

MEDIO:

Es el canal que permite la transmisión de información entre dos terminales de un sistema de transmisión. La transmisión se realiza habitualmente empleando ondas electromagnéticas que se propagan a través del canal. A veces el canal es un medio físico y otras veces no, ya que las ondas electromagnéticas son susceptibles de ser transmitidas por el vacío.

MONOMODO:

Una fibra monomodo es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz. Se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño (8,3 a 10 micrones) que sólo permite un modo de propagación. Su transmisión es paralela al eje de la fibra. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias (hasta 400 km máximo, mediante un láser de alta intensidad) y transmitir elevadas tasas de información (decenas de Gb/s).

MULTIMODO:

Una fibra multimodo es aquella en la que los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino. Esto supone que no llegan todos a la vez. Una fibra multimodo puede tener más de mil modos de propagación de luz. Las fibras multimodo se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 2 km, es simple de diseñar y económico.

OADM:

Es un multiplexor, que es capaz de extraer la información contenida en cualquiera de las longitudes de onda de la fibra en cualquier punto intermedio de la misma. Además de esto también permite introducir canales a mitad de fibra.

OLT: (Optical Line Terminal): unidad óptica terminal, la cual con la ayuda de la unidad óptica de usuario (ONU), establecen la comunicación. Habitualmente Lo OLT se interconecta con una red de transporte que recoge los flujos procedentes de varias OLTs y los encamina a la cabecera de la red.

OXC:

Conmuta dos canales ópticos desde unas fibras de entrada a unas fibras de salida.

OSI/ISO:

OSI:

Interconexión de Sistemas Abiertos) Norma universal para protocolos de comunicación lanzado en 1984. Fue propuesto por ISO y divide las tareas de la red en siete niveles.

ISO:

La ISO es una organización no gubernamental establecida en 1947. La misión de la ISO es promover el desarrollo de la estandarización y las actividades con ella relacionada en el mundo con la mira en facilitar el intercambio de servicios y bienes, y para promover la cooperación en la esfera de lo intelectual, científico, tecnológico y económico.

PDH: es una tecnología usada en telecomunicación tradicionalmente para telefonía que permite enviar varios canales telefónicos sobre un mismo medio (ya sea cable coaxial, radio o microondas) usando técnicas de multiplexación por división de tiempo y equipos digitales de transmisión.

PROTECCIÓN:

Es donde se establece de ante mano una serie de caminos de reserva, dispuestos en forma de ciclos o anillos, para que cuando caiga un enlace se utilicen estos ciclos para continuar la transmisión de datos.

RED:

Se emplean cada vez más en telecomunicación, debido a que las ondas de luz tienen una frecuencia alta y la capacidad de una señal para transportar información aumenta con la frecuencia. En las redes de comunicaciones por fibra óptica se emplean sistemas de emisión láser. Aunque en los primeros tiempos de la fibra óptica se utilizaron también emisores LED, en el 2007 están prácticamente en desuso.

RED DE ACCESO:

Es el trayecto final de las redes de telecomunicación, el tramo que une el domicilio de cada usuario con el resto de la red.

REFLEXIÓN:

Es el cambio de dirección que experimenta esta cuando choca contra una superficie lisa y pulimentada sin cambiar de medio de propagación. En la reflexión hay tres elementos: rayo incidente, línea normal o perpendicular a la superficie y rayo reflejado. Se llama ángulo de incidencia al que forma la normal con el rayo incidente y ángulo de reflexión al formado por la normal y el rayo reflejado.

RFC 2828:

Define ataque como, Un asalto a la seguridad del sistema derivado de una amenaza inteligente; es decir un acto inteligente para eludir los servicios de seguridad y violar la política de seguridad de un sistema.

SAN (STORAGE AREA NETWORK):

Es una red dedicada al almacenamiento que está conectada a las redes de comunicación de una compañía. Además de contar con interfaces de red tradicionales, los equipos con acceso a la SAN tienen una interfaz de red específica que se conecta a la SAN.

SDH:

Es un dispositivo digital que trabaja realizando multiplexación por división de tiempo.

SEGURIDAD:

Protege a una entidad contra el uso no autorizado de sus recursos. Este servicio de seguridad se puede aplicar a varios tipos de acceso, por ejemplo el uso de medios de comunicación, la lectura, escritura o eliminación de información y la ejecución de procesos.

SONET:

Es un conjunto de estándares para la transmisión o transporte de datos síncronos a través de redes de fibra óptica. SONET significa por sus siglas en inglés, Synchronous Optical Network.

TERABIT:

Es una unidad de tasa de transferencia.

TRANSMISIÓN:

Es la transferencia física de datos por un canal de comunicación punto a punto o punto a multipunto.

WDM:

Multiplexación por división de onda. En la fibra óptica la técnica consiste en acomodar múltiples señales de luz en un solo cable, utilizando diferentes frecuencias.

INTRODUCCIÓN

El cambiante escenario telemático, ha permitido la utilización plena de los sistemas de comunicación óptica, para alcanzar así velocidades del orden de los terabits por segundo, cualificando nuevos escenarios operacionales como las SAN y optimizando la potencialidad de la multiplexación por longitud de onda.

El paso de PDH a SDH y SONET, deparó una gran ventaja competitiva y funcional, en los componentes de las capas de la red de transporte: circuito, trayecto y transmisión, al categorizar la calidad de servicio (Qos) y el Label Switch Path (LSP), como diferenciadores de construcción en el proceso de intercambio de valores son soporte de las SAN, en lo pertinente al direccionamiento, descubrimiento y encaminamiento tanto en redes metropolitanas como en redes de larga distancia, generando el salto operacional del entorno WDM al DWDM.

Se presentan en este trabajo, las generalidades del marco de desarrollo, luego se aborda la teoría de la física de la luz, y el nivel operacional de la fibra óptica para entonces poder desarrollar lo pertinente al hardware óptico especializado, redes de acceso, protección, gestión y control.

Este trabajo permitirá a los estudiantes del programa, conocer las aplicaciones de la fibra óptica, diferenciando los esquemas convencionales de acceso y comprendiendo los mecanismos de control y protección que exige la operación de redes ópticas metropolitanas o de larga distancia.

CAPITULO 1

MARCO DE CONTEXTUALIZACIÓN OPERACIONAL

1.1. PROBLEMA A ESTUDIAR

El problema que formulo la base referencial de estudio para el presente proyecto, evidencia de forma descriptiva los componentes a continuación mostrados.

1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El establecimiento de caminos virtuales con ATM y SDH, la configuración estructural de la llamada capa óptica basada en componentes fotónicos, la necesidad de incrementar el trafico agregado con parametrización en gigabits por segundo o en terabits por segundo que requiere contar con un ancho de banda amplio, exige la utilización de sistemas de multiplexación densa de longitud de onda(DWDN).esta configuración operacional requiere la utilización de 3 componentes especializados: los OLT (Optical Line Terminals) los operadores de inserción y extracción de canales (OpticalAdd/ DropMultiplexers), conocidos como ADM y los OXC que funcionan como de conmutación óptica (Optical Cross Connect) y por ende se debe identificar entonces las capas clientes de la red óptica.

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Como definir y estructurar una red de acceso con tecnología WDM y ranurado espectral?

1.2. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Construir y presentar para consideración y soporte de las actividades académicas del programa el patronato normativo de configuración de una red de acceso con plataforma óptica FTTH-WDM.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Identificar el procesos de encaminamiento a nivel MPLS (Multi Protocol Label Switching)

- ❖ Conocer el funcionamiento de los diferentes tipos de conversores de longitud de onda por mezclado y técnicas interferométricas.
- ❖ Valorar por prototificación la calidad y pertinencia del modelo DAVIC (Digital Audio Video Council) asociado con la red de acceso.

1.3. ESCENARIO CONTEXTUAL DE DESARROLLO

De conformidad con el modelo de investigaciones que contempla el programa de ingeniería de sistemas, este proyecto se enmarca así:

- ❖ Línea de investigación:
Redes y comunicaciones
- ❖ Área de Investigación:
Construcción de soluciones telemáticas

1.4. JUSTIFICACIÓN

La consolidación en Colombia del ministerio de las TIC's como unidad propulsora del desarrollo de los sistemas de interconexión e intercambio transaccional, desafían al ingeniero de sistemas para que dimensione con objetividad las características de las nuevas tecnologías que requiere la empresa moderna, para competir globalmente y posicionarse en el entorno; la comunicación por fibra óptica, cuya velocidad salta al umbral de los Tera bits por segundo (Tbs), constituye un escenario de amplia utilización en Colombia al poder referenciar con propiedad y objetividad tanto la arquitectura convencional básica definida por los: OLT (Optical Line Terminals), los OADM (Optical Add/Drop Multiplexers) y los OXC (Optical Cross Connect), como las tecnologías de multiplexación por división de longitud de onda y los parametrizadores de utilización de enlace en las llamadas redes de acceso en sus diversas manifestaciones: FTTCAB, FTTD, FTTH, así como el protocolo MPLS (Multi Protocol Label Switching), unidad estructural de funcionalidad y categorizador de efectividad de esta tecnología.

1.5. RESULTADO ESPERADOS

Estructuración del correspondiente documento de consulta que despliega la fundamentación relacionada con la capa óptica basada en componentes fotónicos que garantiza la utilización de un ancho de banda amplio para

transmitir y recibir valores informáticos en la escala de los terabits por segundo, relacionando esta velocidad con la capacidad de almacenamiento proporcionado por la SAN y con las características tecnológicas de la multiplexación por longitud de onda (DWDM).

1.6. METODOLOGÍA

La carta técnica para desarrollar este trabajo y así cumplir con la normativa establecida por el comité de proyectos de grado del programa, contempla como escenario de operación, la metodología convencional para el estudio y desarrollo de proyectos tecnológicos, sugerida por el ministerio de las TIC's, que estructura las fases mencionadas seguidamente:

❖ Fase de contextualización

Permite responder a las preguntas: ¿Qué se quiere?, ¿Cómo se hará?, ¿Para que se hará?, ¿Con que se hará? y ¿Quién habrá de utilizarlo?, es decir se planifica el accionar teleológico del proyecto, estableciendo las estrategias requeridas para la recolección, análisis y clasificación de la información los mismo que la formulación de los parámetros básicos para la selección, adquisición y validación de la tecnología demanda.

❖ Fase de especificación

Como resultado de la contextualización y planificación realizada, se procede a delimitar los escenarios teóricos de desarrollo y a formular los elementos descriptivos y las entidades cualificadoras correspondientes a los escenarios teóricos que se estructuraron como base y apoyo para alcanzar los objetivos trazados.

❖ Fase de prototificación y diseño de la solución

Con la información clasificada y con la identificación clara del que se quiere hacer, se producen los marcos descriptivos que definen operacionalmente el prototipo operacional de la solución, es decir se conoce con propiedad que elementos teóricos será profundizados, cuales serán mencionados y cuales podrán ser descartados, produciéndose así el esquema formal de realización de la solución.

❖ Fase de elaboración

Se construye el entregable, se documenta y se produce el entregable que habrá de ser evaluado y discutido por la comunidad académica interesada.

1.7. ESCENARIO TEÓRICO DE OPERACIÓN

El abordar con objetividad el estudio de las redes ópticas, demanda previamente el conocimiento funcional básico de la teoría de redes, los sistemas electrónicos de comunicación, las características físicas de la fibra óptica, el estudio de la ley de SNELL, los principios de multiplexación, el hardware especializado que requiere una conexión por fibra óptica a saber: OLT (Optical Line Terminals), OADM (Optical Add/ Drop Multiplexers) y OXC (Optical Cross Connect), junto con la tipología de conexión óptica FTTX: FTTH (Fiber To The Home), FTTB (Fiber To The Building), FTTC (Fiber To The Curve), FTTCabinet (Fiber To The Cabinet) y FTTCurve (Fiber To The Curve) y complementariamente con los conceptos propios de las tecnologías modernas asociadas con los SAN, y la multiplexación por longitud de onda, temáticas que implícitamente consideran los conceptos a continuación referenciados:

- ❖ Sistemas electrónicos de comunicaciones.
- ❖ Concepto: características emisor y receptor
 - Señales
 - Análisis de Fourier
 - Amplificación de señales
 - Tratamiento de señales
 - Modulación en cuadratura

- ❖ Redes de computadores
 - Concepto
 - Clases
 - Medios de comunicación
 - Fibra óptica
 - Parámetros de enlace
 - Modelos de referenciación
 - Equipamiento de fibra óptica
 - Modulación por multiplexación de longitud de onda
 - Red de acceso
 - Seguridad en redes

CAPITULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEORICA

Se exponen en este capítulo los principios relacionados con la naturaleza ondulatoria de la luz, la estructura funcional de la fibra óptica y sus características como medio de comunicación, para de esta forma estructurar el escenario de operación telemática de las redes óptica; por razones de formalismo descriptivo se procederá con la descripción formal de los medios de comunicación, luego se agregara lo pertinente a la física de la luz y su aplicación en el manejo como unidad de la fibra óptica, para finalizar luego con la contextualización de una solución telemática.

2.1. MEDIOS DE COMUNICACIÓN

Un medio se define como la entidad física que habilita el flujo transaccional de valores informáticos según caracterización de su envío o recepción (Tanenbaum, 2008), según su formalización geométrica, estos pueden ser:

- ❖ Medios guiados
- ❖ Medios no guiados

Los medios guiados son de geometría física compacta estructural, es decir se puede operar manualmente para reducir su tamaño o condicionar su formación, agrupan:

- ❖ Cable coaxial
- ❖ Par trenzado
 - UTP
 - STP
 - FTP
- ❖ Línea telefónica
- ❖ Fibra óptica

Los no guiados por el contrario carecen de una geometría visual de adaptación manual, por ser su escenario de flujo la atmósfera (Stallings, 2010), se categorizan en este grupo:

- ❖ Microondas terrestres
- ❖ Microondas satelital

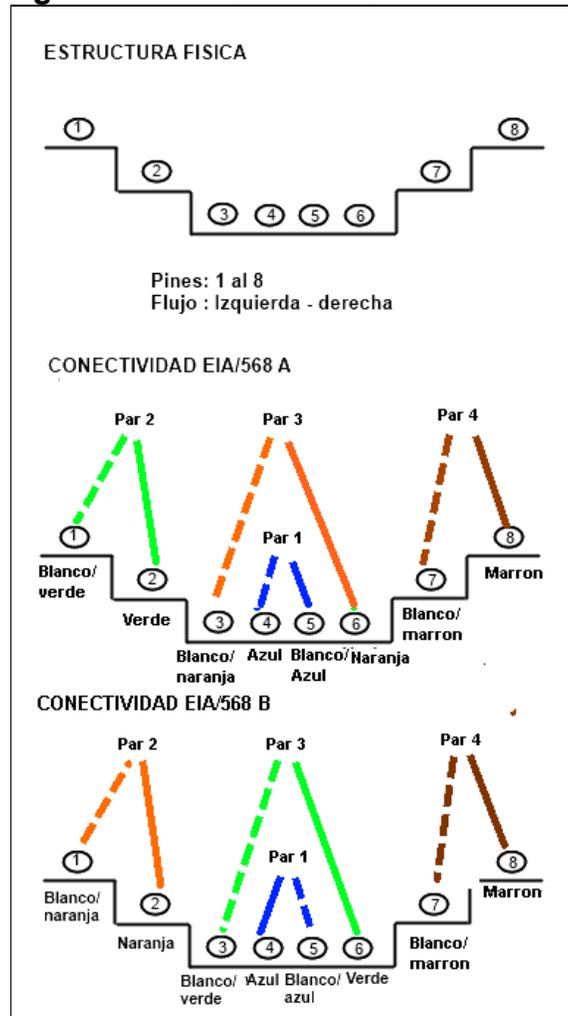
Poseen los medios de comunicación los atributos de acción física, los descritos a continuación:

2.1.1. CONECTORES

Un conector es la unidad de cierre o taponamiento del enlace físico entre el medio y la unidad de operación (Pc, router, Hub o switch), el universo telemático opera los visualizados y citados seguidamente:

- ❖ RJ45: TWISTED PAIR (ver figura 1)

Figura 1: Conector RJ-45



Fuente: Rodríguez Ulises rede de área local

- ❖ BNC (ver figura 2)

Figura 2: Conectores convencionales AUI/BNC

CONECTOR AUI



- 1. Conector macho
- 2. Conector hembra

CONECTOR BNC

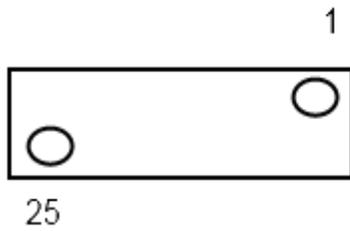


Fuente: <http://artefactos.leame.com/index.php?module=weblogmodule&action=view&id=5&src=@random48e7cdc1a672d>

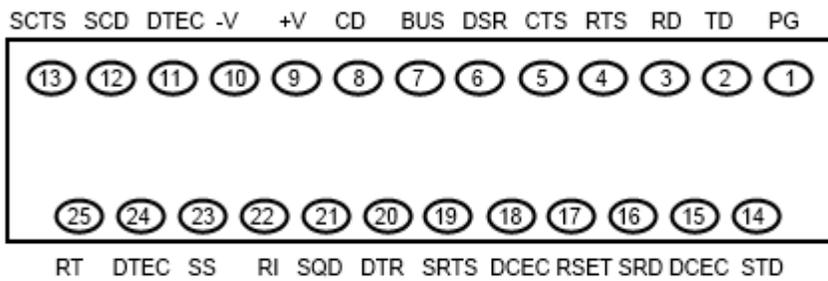
- ❖ AUI (ver figura 2)
- ❖ Básico EIA232D (ver figura 3)

Figura 3: Conector básico EIM232D (cont 1)

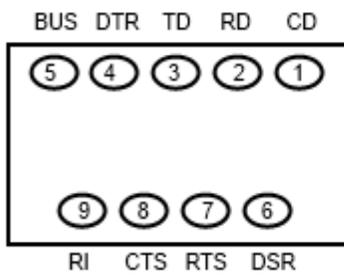
SIMBOLO



CONFIGURACION DE PINES



CONFIGURACION DERIVADA DBP (CON 1)

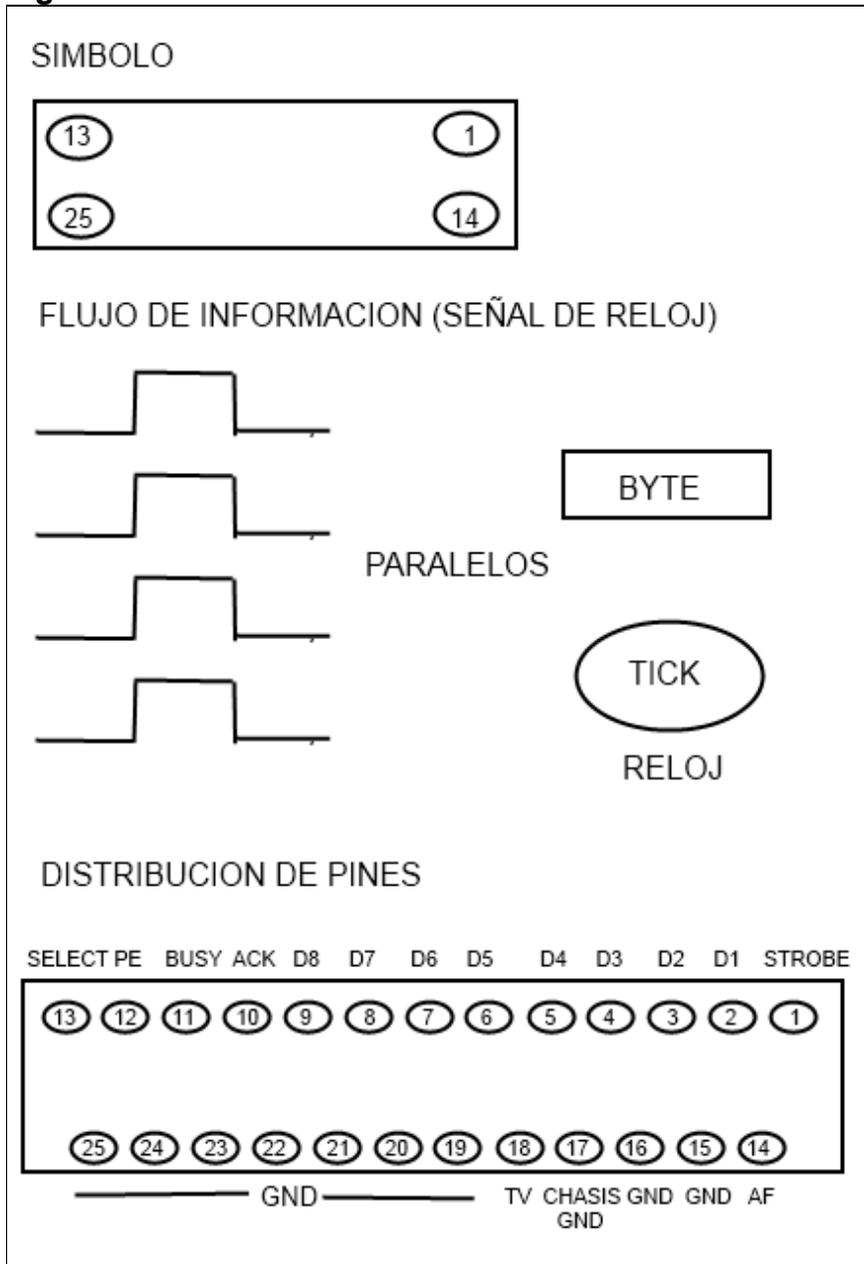


FLUJO DE BITS

Fuente: Aporte realizadores

❖ Básico LPT1 (ver figura 4)

Figura 4: Conector básico LPT1



Fuente: Aporte realizadores

❖ Ópticos:

- BICONIC
- FC
- MINI-BNC

- ST (KEYED TWIST)
- SMA

Su forma se observa en la figura 5.

Figura 5: Conectores ópticos



Fuente: http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/tema2_1_4.htm

2.1.2. PARAMETROS DE OPERACIÓN

En el entorno de la telemática se denomina parámetro de operación a los factores que parametrizan una propiedad física; en todo medio de comunicación se identifican (González, 2000):

- ❖ RESISTENCIAS: Propiedad que contrarresta o ejerce oposición al flujo de la corriente eléctrica, su valor se expresa en ohmios(Ω).
- ❖ REACTANCIA: Oposición al flujo de la corriente alterna, según su causa se aceptan:

- INDUCTIVA

$$X_l = 2\pi fL$$

Donde

$f =$ frecuencia en Hercios

$L =$ Inducatanca en Henrios

- CAPACITIVA

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

Donde

$f =$ frecuencia en Hercios

$C =$ capacitancia en Faradios

- INPEDANCIA: Combinación de los factores anteriores cuyo valor se miden en ohmios (Ω)

$$Z = \sqrt{R^2 + X_i - X_c)^2}$$

Donde

$R^2 =$ Resistencia

$X_i =$ Reactancia inductiva

$X_c =$ Reactancia capacitiva

2.1.3. DISTORCIONANTES

Agente modificador de la señal que fluye por el medio, producto del ruido o perdida de la potencia (atenuación), se considera físicamente:

- ❖ RUIDO¹

- Atmosférico²
- Extraterrestre³
- Térmico⁴

¹Todas las perturbaciones eléctricas que interfieren sobre las señales transmitidas o procesadas. <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/comite/queesrui.htm>

²Es la energía eléctrica que ocurre naturalmente, se origina dentro de la atmósfera de la Tierra. Comúnmente llamado electricidad estática. http://www.ecured.cu/index.php/Tiempo_atmosf%C3%A9rico

³Se origina fuera de la atmósfera de la Tierra y, por lo tanto, a veces es llamado *ruido del espacio profundo*. El ruido extraterrestre se origina de la vía láctea, otras galaxias y el sol. www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r56428.DOC

Su expresión matemática es:

$$N = K B T$$

Donde

N = Densidad de potencia de ruido

K = Constante de Boltzmann = 1.30×10^{-23} J/K

B = ancho de banda

T = Temperatura Kelvia

N = Log B + Log K + Log J

N (DBM) = $10 \text{ Log } KTB/0.001$

❖ PERDIDA DE POTENCIA



(DB) = $10 \text{ Log } P_s/P_e$

(DB) = $10 \text{ Log } \text{Potencia salida/ Potencia entrada}$

Pero como la potencia se define así:

$$P = v^2 / r$$

Entonces

$$\begin{aligned} D_B &= 10 \log \frac{v^2 \text{ salida} / R}{v^2 \text{ entrada} / R} \\ &= 10 \log \left(\frac{v^2 \text{ salida}}{v^2 \text{ entrada}} \right)^2 \\ &= 20 \log \frac{v \text{ salida}}{v \text{ entrada}} \end{aligned}$$

2.2. FISICA DE LA LUZ

La luz se comporta como una onda electromagnética o como un a partícula (Giancoli, 2010), confirmando así las teorías de Maxwell⁵, y de manera complementaria comprender que la luz como onda viaja a lao largo de la línea de transmisión como en el espacio, por ende se verifican estas ecuaciones:

$$\begin{aligned} U &= U_E + U_B \\ u &= \frac{1}{2} e_0 \varepsilon^2 + \frac{1B^2}{2u_0} \end{aligned}$$

Esta ecuación se puede describir como:

⁴Es el ruido producido por el movimiento de los electrones en los elementos integrantes de los circuitos, tales como conductores, semiconductores, tubos de vacío, etc. <http://sifunpro.tripod.com/termos.htm>

⁵Estas teorías demostraron que la electricidad, el magnetismo y hasta la luz, son manifestaciones del mismo fenómeno, sintetizando todas las anteriores observaciones, experimentos y leyes sobre electricidad, magnetismo y aun sobre óptica.

e-educativa.catedu.es/44700165/aula/.../2959/.../425_otras_leyes.html

$$u = \frac{1}{2} e_0 \varepsilon^2 + \frac{1}{2} \frac{\varepsilon_0 u_0 \varepsilon^2}{u_0}$$

$$u = e_0 \varepsilon^2$$

Por ser $B = E/c$

$$C = 1/\sqrt{e_0 \mu_0}$$

Es decir que

$$\mu = e_0 \varepsilon^2$$

$$\mu = \varepsilon_0 c^2 B^2$$

$$\mu = B^2 / \mu_0$$

$$\mu = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} \varepsilon B$$

Y la identidad, es decir la energía por unidad de área por tiempo o partícula por unidad de área se expresa como: (Giancoli, 2010)

$$I = \frac{\Delta u}{A \Delta t}$$

$$I = \frac{(R_0 \varepsilon^2) A c \Delta t}{A \Delta t} = e_0 c \varepsilon^2$$

$$I = \frac{c}{\mu_0} B^2$$

$$I = \frac{\varepsilon_0 B_0}{2 \mu_0}$$

El tratamiento de las frecuencias asociadas con los diversos tipos de luz y rayos de activación se puede registrar según el espectro electromagnético⁶, que diferencia estos niveles:

- ❖ Banda de fibra óptica
 - Infrarrojo⁷ 10^{13} Hz
 - Visible 10^{14} Hz
 - Ultravioleta⁸ 10^{17} Hz

- ❖ Banda no convencional
 - Rayos X⁹ 10^{18} Hz

⁶ Distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. Distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas.

⁷ Es un tipo de radiación electromagnética y térmica, de mayor longitud de onda que la luz visible. <http://www.buenastareas.com/ensayos/Rayos-Gamma-Rayos-x-Rayos.html>

⁸ radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 400 nm (4×10^{-7} m) y los 15 nm ($1,5 \times 10^{-8}$ m). <http://www.purion.de/es/technology.php>

- Rayos gamma¹⁰ 10^{20} Hz
- Rayos cósmicos¹¹ 10^{22} Hz

2.2.1. OPERACIONALIDAD DE LA LUZ

La luz como energía electromagnética, permite referencias los parámetros operacionales registrados a continuación:

- ❖ Categorías o manifestaciones
 - Luz visible
 - Luz invisible
- ❖ Unidad de medida
 - Angstrom = 10^{-8} cm
 - Micrones = 10^{-4} cm

Estos valores aplican a la longitud de onda.

- ❖ Integridad celular: la luz blanca producida por síntesis, es decir fusión de los colores primarios.
- ❖ Colores primarios
 - Su mezcla produce luz blanca
Luz blanca tenue = Rojo + Verde + Azul
 - La combinación de dos de ellos no reproduce el otro.
- ❖ Generadores: Igualdades que asocian la mezcla de colores
 - Amarillo = Rojo + Verde
 - Cian = Verde + Azul
 - Negro = Rojo + Azul

⁹ Surgen de fenómenos extra nucleares, a nivel de la órbita electrónica, fundamentalmente producidos por desaceleración de electrones. <http://www.buenastareas.com/ensayos/Aplicaciones-De-Los-Rayos-x/2162670.html>

¹⁰ Es un tipo de radiación electromagnética, y por tanto constituida por fotones, producida generalmente por elementos radiactivos o por procesos subatómicos como la aniquilación de un par positrón-electrón. También se genera en fenómenos astrofísicos de gran violencia. <http://es.scribd.com/doc/86305245/Luz>

¹¹ son partículas subatómicas procedentes del espacio exterior cuya energía, debido a su gran velocidad, es muy elevada: cercana a la velocidad de la luz. http://es.wikipedia.org/wiki/Observatorio_Pierre_Auger

❖ Atributos

- Brillante
Cantidad de energía
- Tinte
Frecuencia de la luz
- Saturación
Pureza de la luz

Con esta conceptualización, es posible considerar como ejemplo que la formación de una señal con el 25% de rojo, se forma como:

$$\begin{aligned} 25\% (Rojo) &= \frac{1}{4} Rojo + \frac{3}{4} Luz\ blanco \\ &= \frac{1}{4} R + \frac{3}{4} (R + U + A) \\ &= \frac{1}{4} R + \frac{3}{4} R + \frac{3}{4} U + \frac{3}{4} A \\ &= \frac{4}{4} R + \frac{3}{4} U + \frac{3}{4} A \\ &= R + \frac{3}{4} U + \frac{3}{4} A \end{aligned}$$

2.2.2. ASOCIATIVIDAD FUNCIONAL

Se agrupan bajo este principio el conjunto de señales asociadas con el nivel de producción de un esquema de visualización (Tomasi, 2010), identificándose:

❖ Señal de luminancia¹²

$$\begin{aligned} Y &= 0.30R + 0.59G + 0.11B \\ &= 30\% Rojo + 59\% Verde + 11\% Azul \end{aligned}$$

❖ Señal de crominancia¹³

$$\begin{aligned} I &= 0.60R - 0.28G + 0.32B \\ &= 60\% Rojo - 28\% Verde + 32\% Azul \end{aligned}$$

❖ Señal de cuadratura¹⁴

$$Q = 0.21R - 0.52G + 0.31B$$

¹²Es uno de los componentes de la señal de vídeo, y es la medida fotométrica del brillo de una imagen de vídeo.

¹³ Es el componente de la señal de video que contiene la información del color.

¹⁴ Consiste en modular por desplazamiento en amplitud (ASK) de forma independiente, dos señales portadoras que tienen la misma frecuencia pero que están desfasadas entre sí 90°.

$$= 21\% \text{ Rojo} - 52\% \text{ Verde} + 31\% \text{ Azul}$$

Con estas igualdades, se puede verificar que la generación de azul con brillantez del 50% se puede expresar como:

$$\begin{aligned} 50\% \text{ Azul} &= \frac{1}{2} A + \frac{1}{2} \text{ Blanco} \\ &= \frac{1}{2} A + \frac{1}{2} (A + V + R) \\ &= \frac{1}{2} A + \frac{1}{2} A + \frac{1}{2} V + \frac{1}{2} R \\ &= 11\% + \frac{1}{2} (30\%) + \frac{1}{2} (59\%) \\ &= 11\% + 15\% + 29.5\% \\ &= 55.5\% \end{aligned}$$

Pero si se quiere obtener anaranjado con brillantez del 25%, se tiene que

$$\begin{aligned} AN &= \frac{1}{2} (\text{Amarillo}) + \frac{1}{2} (\text{Rojo}) \\ &= \frac{1}{2} (\text{Rojo} + \text{Verde}) + \frac{1}{2} (\text{Rojo}) \\ &= \frac{1}{2} \text{Rojo} + \frac{1}{2} \text{Verde} + \frac{1}{2} \text{Rojo} \\ &= \text{Rojo} + \text{Verde} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 25\% AN &= \frac{1}{4} An + \frac{1}{2} B \\ &= \frac{1}{4} An + \frac{3}{4} (R + U + A) \\ &= \frac{1}{4} (\text{Rojo} + \text{Verde}) + \frac{3}{4} \text{Rojo} + \frac{3}{4} \text{Verde} + \frac{3}{4} \text{Azul} \\ &= \frac{1}{4} \text{Rojo} + \frac{1}{4} \text{Verde} + \frac{3}{4} \text{Rojo} + \frac{3}{4} \text{Verde} + \frac{3}{4} \text{Azul} \\ &= \text{Rojo} + \text{Verde} + \frac{3}{4} \text{Azul} \\ &= 30\% + 59\% + \frac{3}{4} (11\%) \\ &= 89\% + \frac{33}{4}\% \\ &= 89\% + 8.2\% \\ &= 97.2\% \end{aligned}$$

2.3. PROPAGACION DE LA LUZ

El principio fundamental de la absorción¹⁵ que define el proceso que permite verificar el movimiento de un nivel de energía a otro, pues los átomos irradian desde UVA fuente de luz, cuya energía es igual a la

¹⁵Es el fenómeno por el cual la energía de un fotón es *tomada* por otra partícula. http://es.wikipedia.org/wiki/Absorci%C3%B3n_%28%C3%B3ptica%29

diferencia entre el nivel de tierra y el nivel de energía, determino el concepto fundamental de los fotones (Tomasi, 2008), cuyo comportamiento matemático se expresa por:

$$\varepsilon_2 - \varepsilon_1 = \varepsilon_p$$

Donde ε_p es energía del fotón

$$\varepsilon_p = h F$$

Donde h es la constante de Planck = 6.625×10^{34} *Joul/segundo*

$$\varepsilon_p = \frac{h F}{\lambda}$$

La propagación de la luz, al cambiar de medio evidencia un doblamiento hacia la normal que se conoce como refracción¹⁶ y se presenta a continuación (Giancoli, 2010).

2.3.1. REFRACCIÓN

Principio que valida el cambio de dirección de un rayo de luz, así por ejemplo las ondas rojas son menos refractadas, pero las ondas violeta si cambian ampliamente de dirección (ver figura 6). El valor que cuantifica el doblado de la onda se denomina índice de refracción y se define como:

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

Donde índice refractivo:

c = *velocidad del al luz en el escacio libre*

v = *velocidad del al luz en un material*

2.3.2. LEY DE SNELL¹⁷

Define como el producto del ángulo de incidencia por el índice refractivo del medio 1 es equivalente al producto del ángulo de refracción por el índice refractivo del medio 2.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Donde

n_i = *Indices refractivos de los medios*

θ_1 = *Angulo de incidencia*

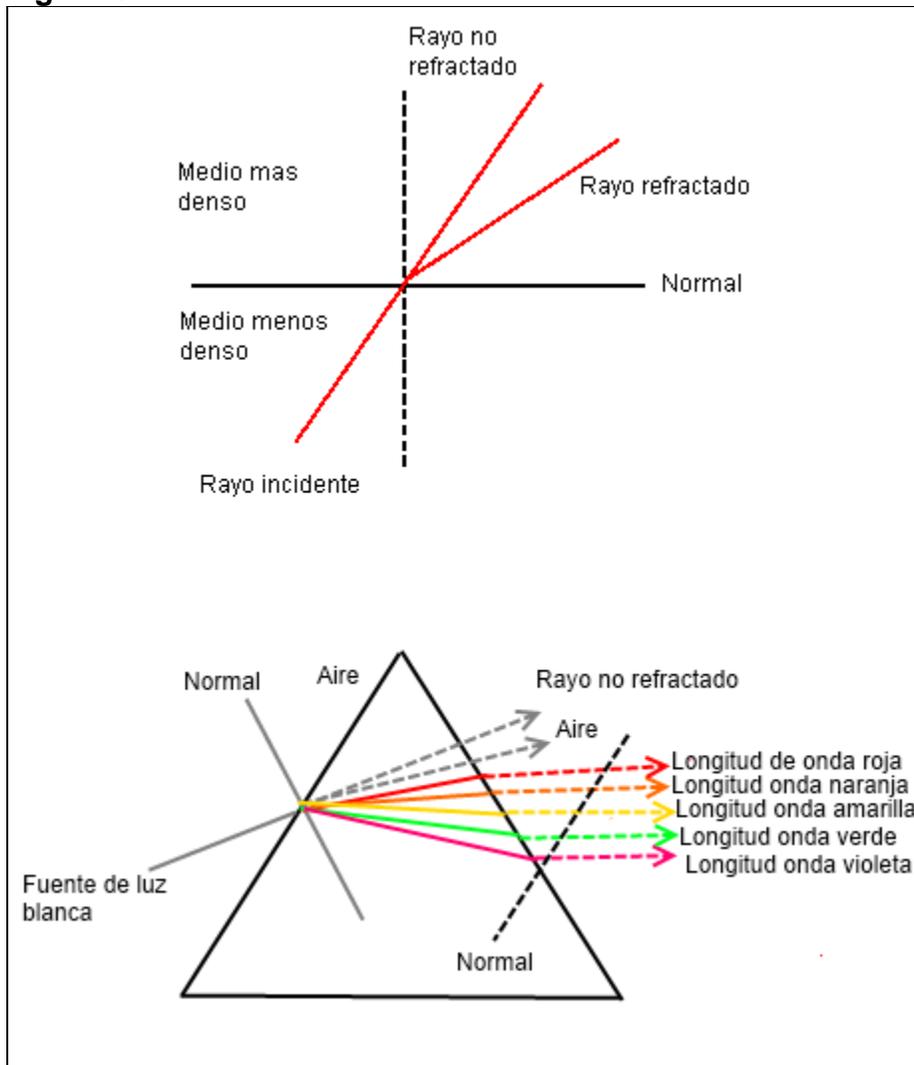
θ_2 = *Angulo de refraccion*

El modelo refractivo, se presenta en la figura 7

¹⁶Es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. <http://www.miportal.edu.sv/blogs/blog/amadeo2012/general/2012/06/04/nuevo>

¹⁷Es una fórmula utilizada para calcular el ángulo de refracción de la luz al atravesar la superficie de separación entre dos medios de propagación de la luz (o cualquier onda electromagnética) con índice de refracción distinto. http://www.fisicanet.com.ar/fisica/ondas/ap11_luz.php

Figura 6: Refracción de la luz



Fuente: Sers and Semansky, Física fundamental

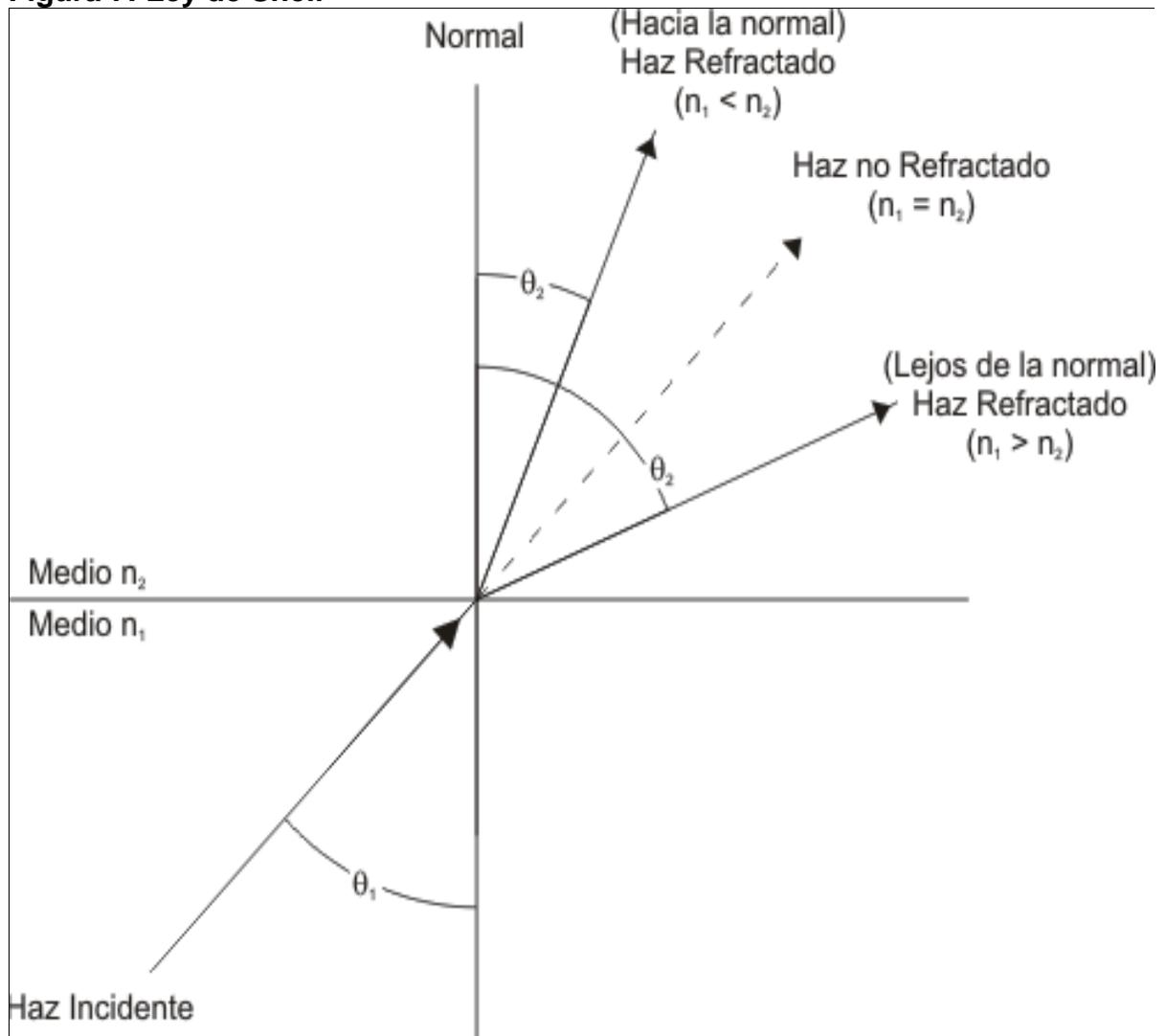
2.3.3. ANGULO CRÍTICO¹⁸

Angulo de incidencia mínimo con el cual un haz de luz puede incidir en la interface de los dos medios y generar un ángulo de 90° o mayor (Resnick and Halliday, 2003), se expresa a partir de:

$$\sin \theta_1 = \frac{n_2}{n_1} \sin \theta_2$$
$$\sin \theta_2 = 90^\circ$$

¹⁸ Es el fenómeno que se produce cuando un rayo de luz, atraviesa un medio de índice de refracción n_2 menor que el índice de refracción n_1 en el que éste se encuentra, se refracta de tal modo que no es capaz de atravesar la superficie entre ambos medios reflejándose completamente. http://webs.ono.com/mariadoloresmarin/pdf/f2b_41_op_of.pdf

Figura 7: Ley de Snell



Fuente: Sanz and Senausky, Física fundamental

$$\sin \theta_1 = \frac{n_2}{n_1} \sin 90^\circ$$

$$\sin \theta_1 = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

$$\sin \theta_1 = \frac{n_2}{n_1}$$

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

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

2.4. MEDIOS DE COMUNICACIÓN¹⁹

Un medio de comunicación es la entidad que permite el flujo transaccional del valor informático (Tanenbaum, 2008), según su geometría operacional, se dividen en:

- ❖ Medios guiados
 - Cable coaxial²⁰
 - Par trenzado²¹
 - UTP²²
 - STP²³
 - FTP²⁴
 - Fibra óptica²⁵
 - Cable telefónico²⁶

- ❖ Medios no guiados
 - Microondas terrestres
 - Microondas satelitales

Todo medio, evidencia o registra las siguientes características:

- ❖ Resistencia: Oposición en el flujo de corriente, se expresa en Ohmios (Ω).

- ❖ Reactancia
 - Inductiva

$$X_l = 2\pi fL$$

¹⁹Es el proceso mediante el cual se puede transmitir información de una entidad a otra a través de un canal. http://es.wikipedia.org/wiki/Microanatom%C3%ADa_del_sistema_nervioso

²⁰ Es un cable utilizado para transportar señales eléctricas de alta frecuencia que posee dos conductores concéntricos, uno central, llamado vivo, encargado de llevar la información, y uno exterior, de aspecto tubular, llamado malla o blindaje, que sirve como referencia de tierra y retorno de las corrientes. <http://delg.bligoo.com.mx/cable-bifilar-y-cable-coaxial>

²¹Es un medio de conexión usado en telecomunicaciones en el que dos conductores eléctricos aislados son entrelazados para anular las interferencias de fuentes externas y diafonía de los cables adyacentes. <http://www.ingeniatic.net/index.php/multimedia/videos/item/745-cable-de-par-trenzado>

²² Son cables de pares trenzados sin blindar que se utilizan para diferentes tecnologías de redes locales. <http://books.google.com.co/books?id=2zzUqp-Jp-oC&pg=PA82&lpg=PA82&dq=Son+cables+de+pares+>

²³Se trata de cables de cobre aislados dentro de una cubierta protectora, con un número específico de trenzas por pie. <http://bandaancha.eu/foros/tipos-cable-red-1651591>

²⁴ Son unos cables de pares que poseen una pantalla conductora global en forma trenzada. Mejora la protección frente a interferencias y su impedancia es de 120 Ohmios. www.buenastareas.com/materias/pantalla-global/60

²⁵ Es un medio de transmisión empleado habitualmente en redes de datos. <http://www.slideshare.net/andresjim/medios-de-transmision-1980950>

²⁶ Cable que sirve para lograr el intercambio de señales eléctricas de un punto a otro punto. <http://johnedi.blogspot.com/2010/03/cable-es-la-linea-electrica-flexible.html>

Donde

$f = \text{frecuencia en Hercios}$

$L = \text{Inductancia en Henrios}$

- Capacitiva

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

Donde

$f = \text{frecuencia en Hercios}$

$C = \text{capacitancia en Faradios}$

❖ Impedancia

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_i - X_c)^2}$$
$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{(F^2 Lc - 1)^2}{(Fc)^2}}$$
$$Z = 2\pi\phi$$

En el siguiente numeral, por ser el medio base formal de operación de presentara la correspondiente a la estructura de la fibra óptica.

2.5. LA FIBRA ÓPTICA: ASPECTOS ESTRUCTURALES

Se describe en este numeral, los aspectos relacionados con la composición física de la fibra, los principios del enlace de fibra óptica, la catalogación operacional a la luz de la física y lo correspondiente a su tipología básica.

2.5.1. FUENTES DE LUZ

Independientemente de la consideración de la luz como onda o como partícula, se precisa conocer el concepto de fuente de luz, y este se define como el dispositivo o entidad generadora de la onda o partícula que causa la irradiación lumínica (Resnick, 2003), específicamente para los sistemas de comunicación por fibra, se tienen:

- ❖ Diodos emisores de luz (LED)²⁷
- ❖ Diodos de inyección laser (ILD)²⁸

Por su importancia, para el trabajo, se produce a su explicación pertinente:

²⁷ Diodos diseñados especialmente para emitir luz. <http://www.ladelec.com/teoria/informacion-tecnica/324-diodos-emisores-de-luz-led>

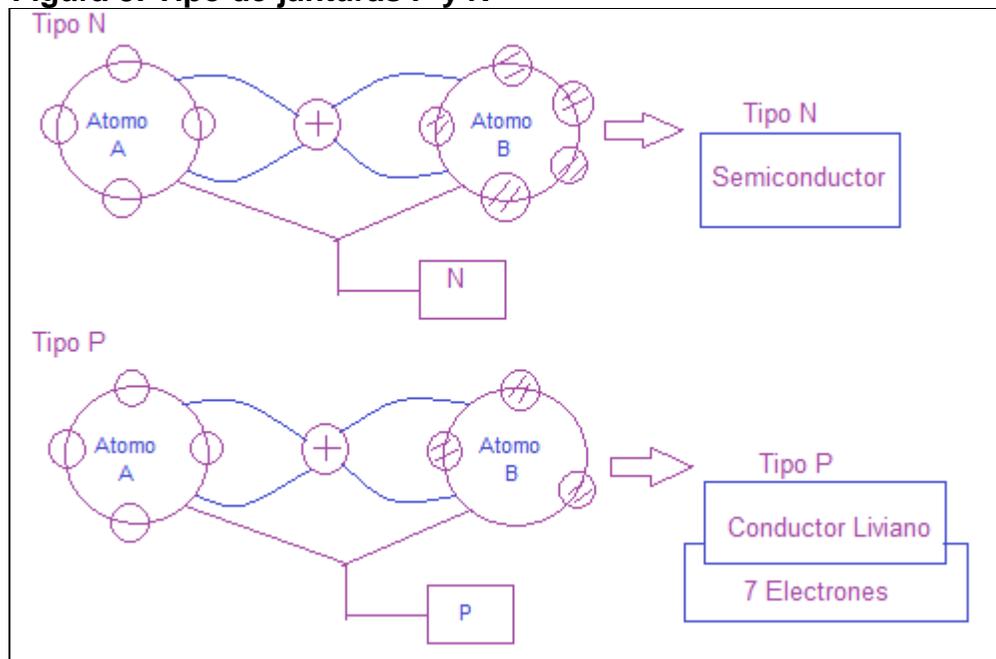
²⁸ Los ILD generan luz monocromática, la cual reduce la dispersión cromática o de longitud de onda. <http://prezi.com/gl1yfnqcosoh/untitled-prezi/>

2.5.1.1. DIODOS EMISORES DE LUZ

La teoría de los semiconductores²⁹, considera que de acuerdo con el número de electrones que posee un átomo en su último nivel para generar la unión o juntura, se trabajan fundamentalmente las junturas, tal como se indica en la figura 8. Tipo P y tipo N.

Físicamente, se verifica entonces que la conexión inversa presenta alta resistencia al paso de la corriente, mientras que la directa ofrece baja resistencia (Giancoli, 2008), esta operación se puede observar en la figura 9.

Figura 8: Tipo de junturas P y N



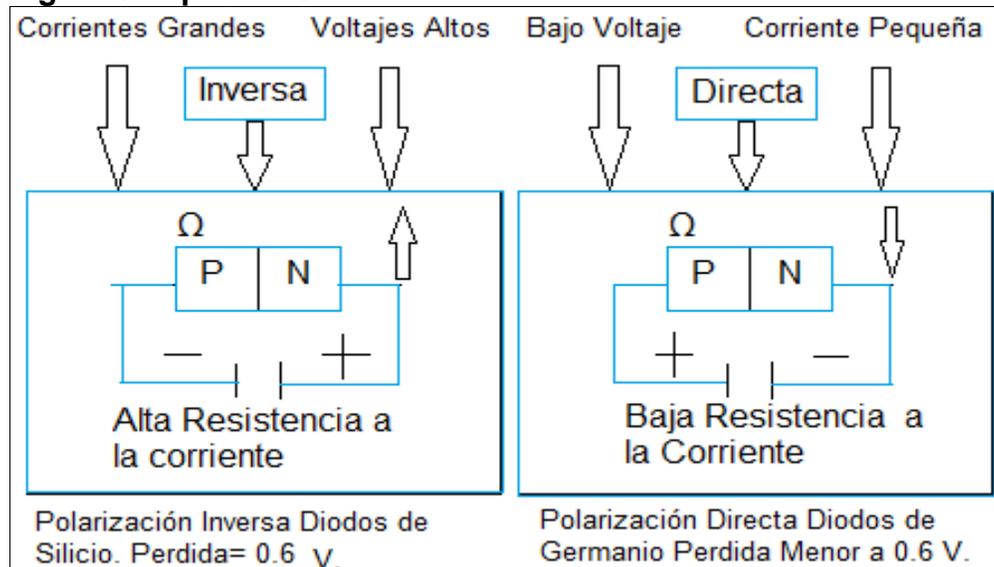
Fuente: Aporte Realizadores.

El LED o Diodo emisor de luz, se fabrica con base a:

- Unión de aluminio-galio-arseniuro (AlGaS)
- Unión de Galio-Arseniuro-fosfuro (GaAsP)

²⁹ Un semiconductor es un elemento material cuya conductividad eléctrica puede considerarse situada entre las de un aislante y la de un conductor, considerados en orden creciente. <http://www.ifent.org/lecciones/semiconductor/default.asp>

Figura 9: Tipos de Conexión



Fuente: Aporte Realizadores

Gracias a la emisión espontánea, se producen los fotones³⁰ o quantum³¹ de energía electromagnética, que viajan a la velocidad de la luz, pero cuando están en reposo no tienen masa.

Su operación a nivel de homounión³² y de heterounión³³ (ver figura 10), permite comprender la diferencia en la producción de potencia en μW a longitudes de onda de 900 nanómetros (Sears, 2004), que materializa:

- Generación de luz brillante al aumentar densidad de corriente.
- Se presenta acoplamiento de luz emitida al tener áreas de emisión reducidas
- El LED de heterounión, genera altas velocidades con capacitancia pequeña.

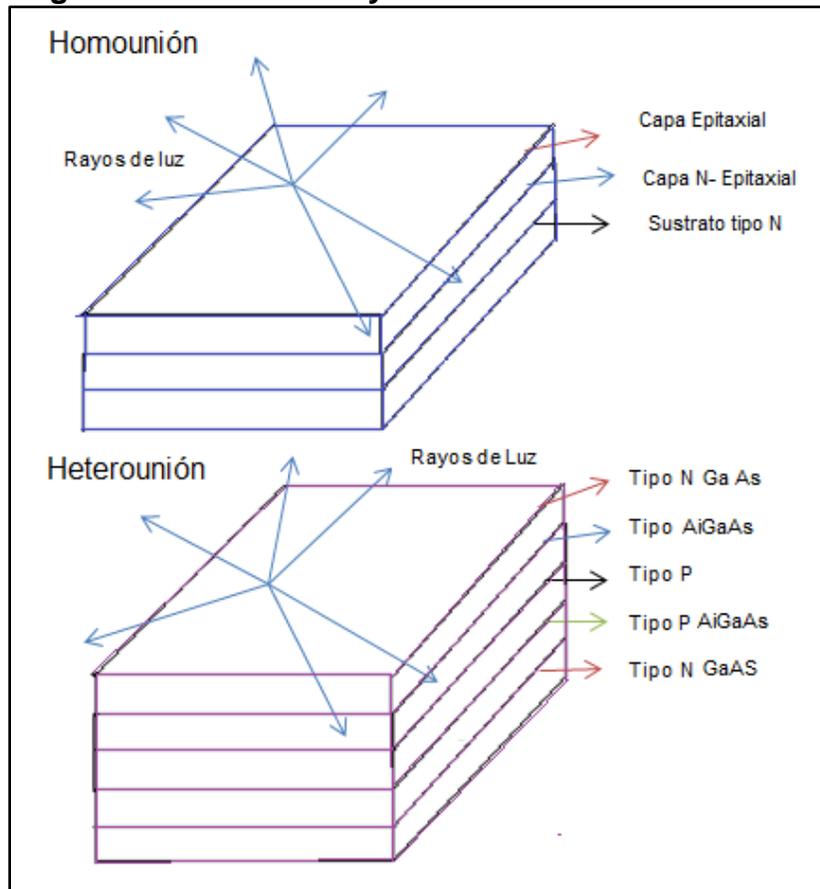
³⁰ Los fotones son portadores de todas las formas de radiación electromagnética (EM). Los fotones viajan a la velocidad de la luz, la cual es: 299 792 458 kilómetros por segundo. www.windows2universe.org/physical_science/.../photon.html&lang=

³¹ es la menor cantidad de energía que puede transmitirse en cualquier longitud de onda. www.astromia.com/glosario/quantum.htm

³² producen más o menos 500 μW a 900 nm de longitud de onda. La principal desventaja de los LED de homounión es la no direccionalidad de su luz emitida, lo que hace que sean malas opciones como fuente luminosa para sistemas de fibra óptica. comunicacionesopticas.files.wordpress.com/.../fuentes-opticas-exp

³³ Los LED de heterounión se fabrica con material semiconductor del tipo p de un conjunto de tomos, y el material semiconductor tipo n, de otro conjunto. comunicacionesopticas.files.wordpress.com/.../fuentes-opticas-exp

Figura 10: Homounión y Heterounión



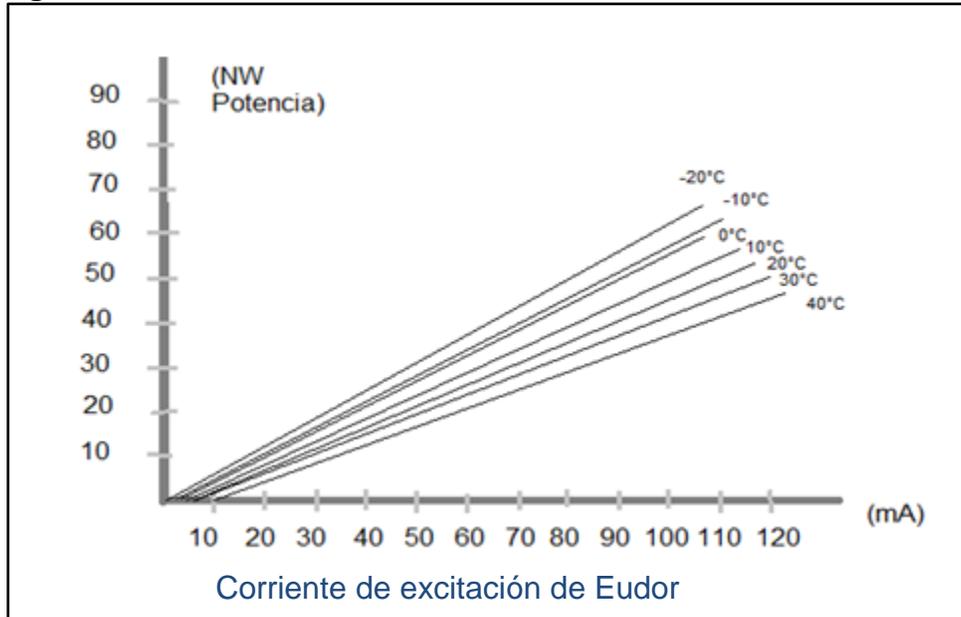
Fuente: Tomasi Wayne, Electronic Communication.

Los LED, para uso telemático, en razón a su alta velocidad operacional, se identifican con los nombres de LED emisores de orilla³⁴ y LED de emisión superficial de burros³⁵, los que se caracterizan por relacionar de manera plena la potencia de salida, la corriente de entrada y la temperatura (Giancoli, 2008), hecho visualizado en la figura 11.

³⁴ Este diodo emite un patrón de luz en forma elíptica, mas direccional que el emitido por los diodos de emisión superficial. lujan.itdelicias.edu.mx/fibraoptica/Unidad2.pdf

³⁵ Para aplicaciones más prácticas, tales como las telecomunicaciones, se requieren razones (velocidades) de datos de 100 Mbps en exceso. www.abmrexel.es/img/descargas/pdf/pdf_desc_43.pdf

Figura 11: Asociación P-T-I



Fuente: Tomasi Wayne, Electronic Communication.

En el universo de la electrónica y las telecomunicaciones, el uso de los LED es amplio, se emplean para hacer reductores de intensidad de luz, flasher³⁶, adaptadores, rectificadores de onda y por supuesto para generar fuentes emisoras de luz, algunos de estos casos se ejemplifican en la figura 12.

2.5.1.2. DIODOS DE INYECCIÓN LASER³⁷

Laser es sinónimo de amplificación de luz, por emisión estimulada (Resnick, 2003), por ende el ILD o Diodo de inyección laser, trabaja como un LED, salvo que su operación se da, al pasar la corriente de umbral y genera la emisión por separación de energía del material semiconductor, la figura 13 ilustra su construcción y relación de potencia, temperatura e intensidad, al trabajar alta potencia, el periodo de vida de un ILD es corto, dependen de la temperatura y son 10 veces mas caros que un LED (Giancoli 2009), pero pese a estos inconvenientes, los ILD se caracterizan por:

- Garantizar mayor velocidad que el LED
- Generar luz monocromática³⁸, que reduce la dispersión³⁹ o longitud de onda

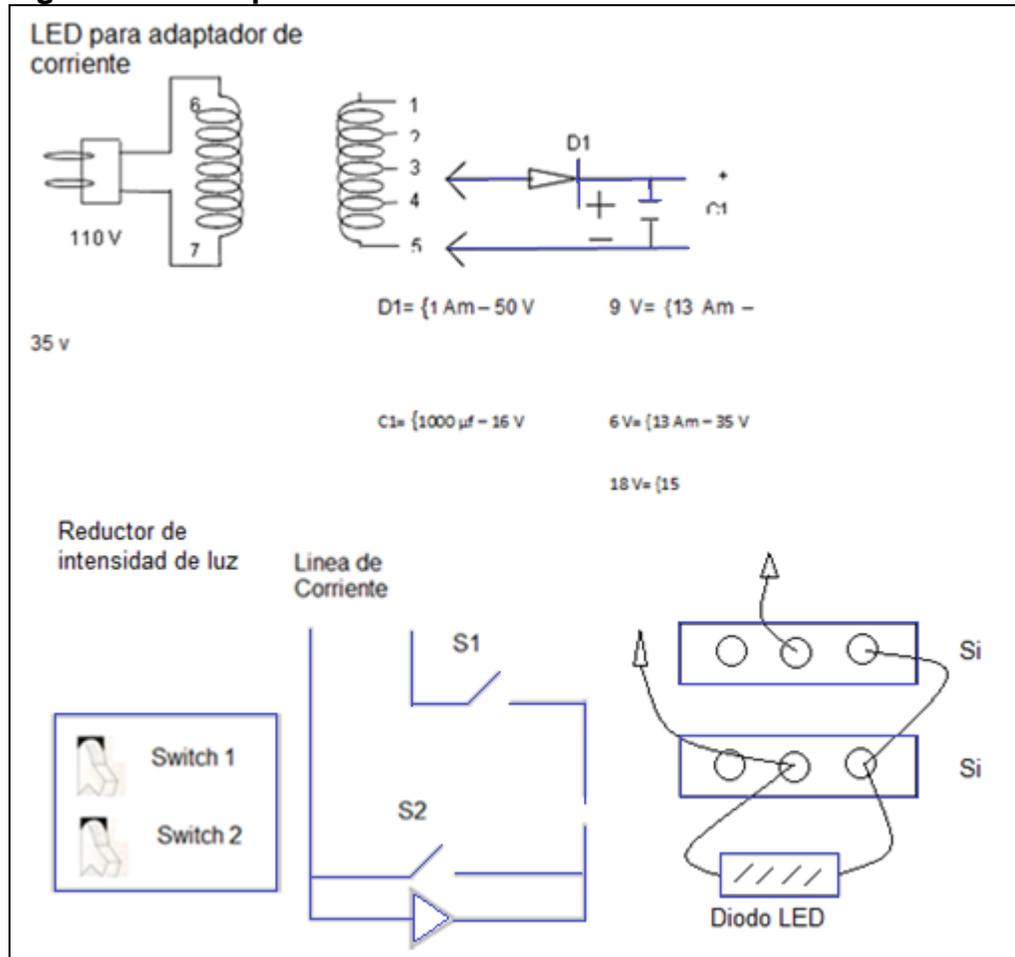
³⁶Componente del sistema de luces de emergencia y direccionales. www.docstoc.com/.../Sistema-Luces-Y-Controles-Auxi-IV---istpalpa

³⁷ Es un dispositivo semiconductor similar a los diodos LED pero que bajo las condiciones adecuadas emite luz láser. www.docstoc.com/.../Sistema-Luces-Y-Controles-Auxi-IV---istpalpa

³⁸ es la que solo esta compuesta por componentes de un solo color. (A diferencia de la luz blanca, que esta formada por muchos componentes). <http://akvis.com/es/articles/ciencia-luz-color/luz-origen-propied.php>

- Proporcionar potencia de radiación MAS ALD y por ende permiten cubrir mayores distancias.
- Permitir la acoplación de luz⁴⁰ en la fibra, reduciendo perdidas por unión.

Figura 12: usos prácticos LED



Fuente: Aporte Realizadores

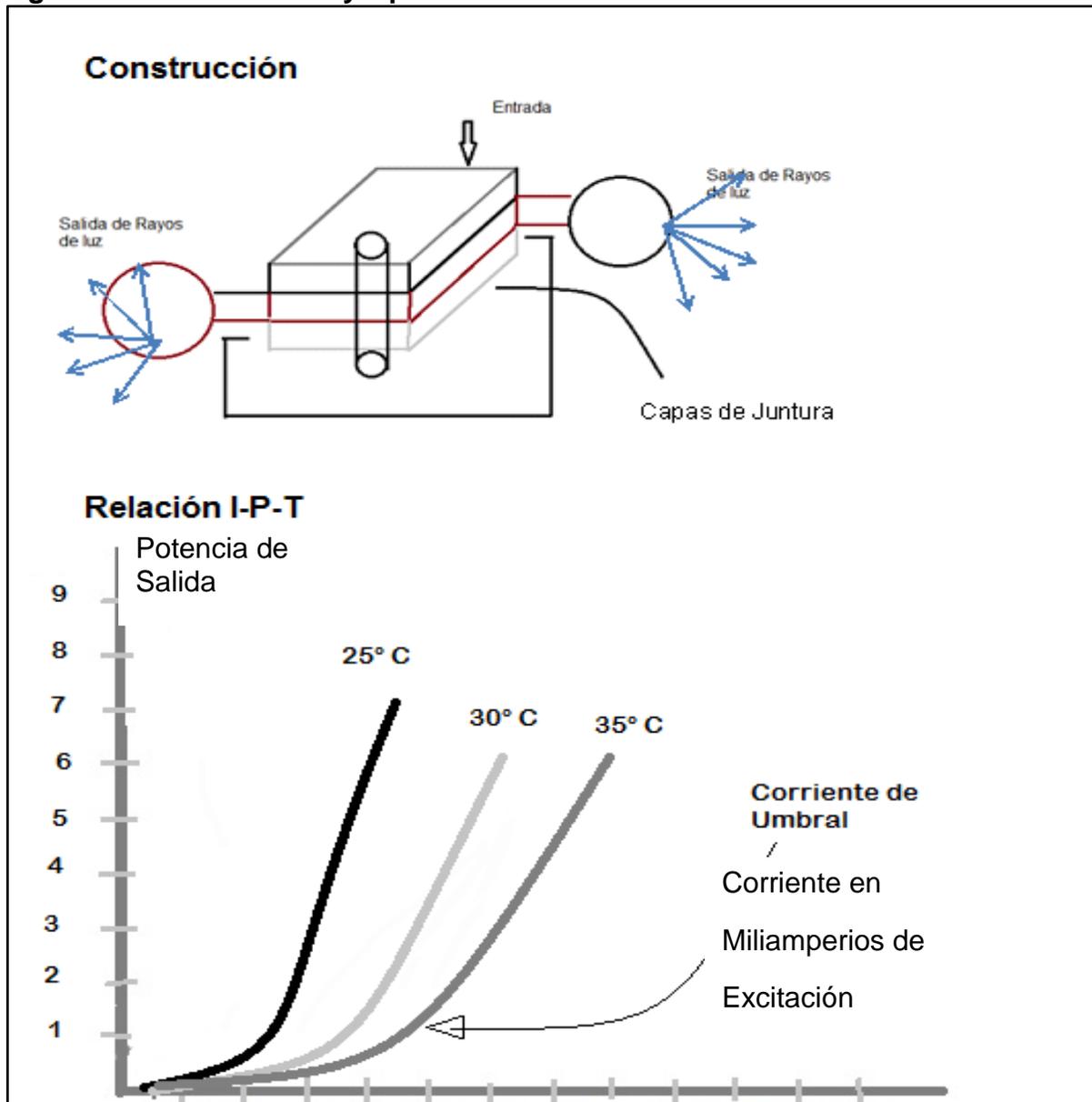
2.5.2. SISTEMA DE ENLACE ÓPTICO

El sistema de enlace óptico, es la entidad operacional que regula la conversión de voltaje a corriente y detecta el flujo de luz (Tomsu, 2009), su estructura se muestra en la figura 14 allí se ilustran sus tres componentes a saber:

³⁹ Es el fenómeno de separación de las ondas de distinta frecuencia al atravesar un material. <http://www.astromia.com/glosario/dispersion.htm>

⁴⁰ permite codificar y decodificar la información simultáneamente entre emisor y receptor. www.xtec.cat/~vmessegu/personal/fperma/elements.htm

Figura 13: Construcción y Operación ILD



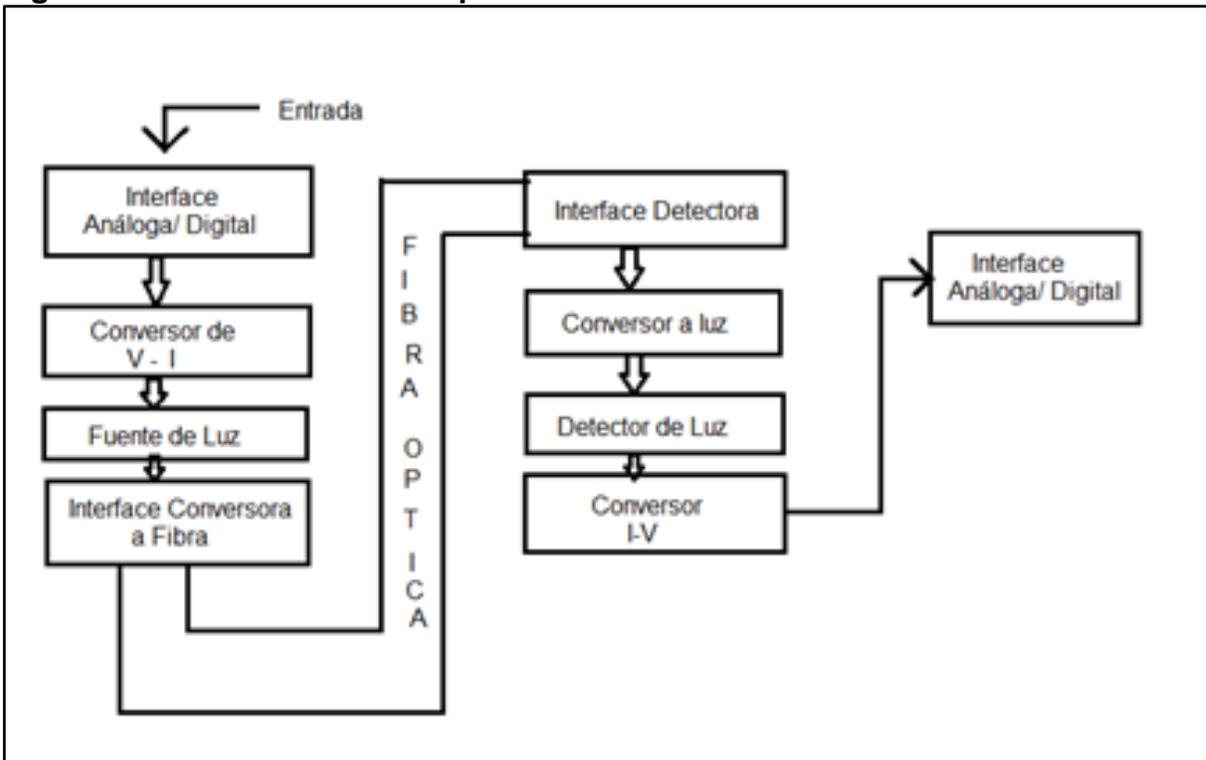
Fuente: Tomasi Wayne, Electronic Communication.

- Transmisor⁴¹: interface análogo/ Digital
- Receptor⁴²: conector, foto detector⁴³, conversor.

⁴¹ permite codificar y decodificar la información simultáneamente entre emisor y receptor.
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lad/barba_g_f/capitulo2.pdf

- Guía de fibra⁴⁴: vidrio ultra

Figura 14: Estructura enlace óptico



Fuente: Lin Nariot A practical fiber guide Optical Systems

2.5.3. ESTRUCTURA DE LA FIBRA

Físicamente, la fibra óptica es el resultado de fusionar cinco (5) elementos (Stallings, 2008), sobre los que opera el flujo de información, según naturaliza operacional asociada con:

- ❖ Energía del fotón
- ❖ Velocidad de propagación
- ❖ Índice refractivo⁴⁵

⁴² extraer la información contenida en una portadora óptica que incide en el fotodetector. fibremex.com/fibraoptica/index.php?mod=contenido&id=3

⁴³ Convierte la potencia óptica incidente en corriente eléctrica, esta corriente es muy débil por lo que debe amplificarse. www.textoscientificos.com

⁴⁴ es un medio de transmisión empleado habitualmente en redes de datos; un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. bryan.bligoo.ec/fibra-optica

⁴⁵ Es una medida que determina la reducción de la velocidad de la luz al propagarse por un medio homogéneo. www.buenastareas.com

- ❖ Modelo refractivo de Snell
- ❖ Angulo crítico⁴⁶
- ❖ Perfil de índice⁴⁷
- ❖ Angulo de aceptación⁴⁸
- ❖ Apertura numérica⁴⁹
- ❖ Constante de dispersión de pulsos⁵⁰

La figura 15, señala:

- ❖ Formalización física
- ❖ Estructura múltiple
- ❖ Distribución geométrica

Debe aclararse, que el flujo de información en la fibra, es motivado por el estado de excitación que por pérdida de energía (Electrón – Voltio), se emite un fotón.

2.5.4. PERFIL DE INDICE

Físicamente el perfil de índices de una fibra óptica, es la representación grafica del valor de el índice refractivo a través de la fibra (Lin, 2010).

Según su modalidad de operación, se identifican:

- ❖ Perfil de índice de escalón
 - Sencillo
 - Multimodo
 -
- ❖ Perfil de índice graduado

⁴⁶El ángulo a partir del cual no existe refracción y toda la luz incidente es reflejada al mismo medio del que procede. www.escire.com/tag/angulo-critico-o-angulo-limite/

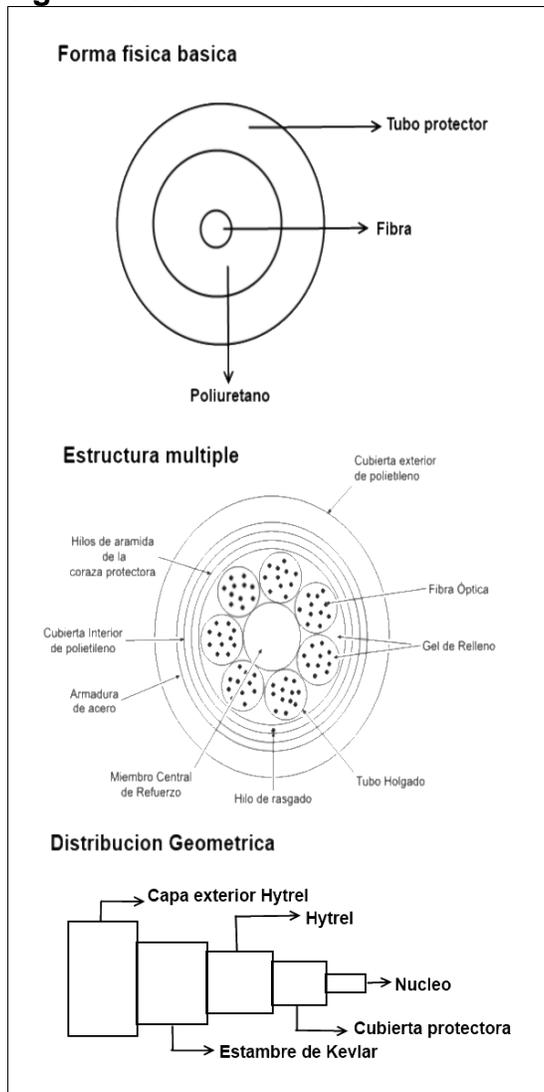
⁴⁷Es la variación conforme nos movemos en la sección transversal de la fibra óptica, es decir a lo largo del diámetro. <ftp://ece.buap.mx/pub/profesor/academ07/.../Viernes22.pdf>

⁴⁸Es el ángulo máximo medido desde el eje de la fibra para el cual el rayo incidente experimenta reflexión total. [Www.herrera.unt.edu.ar/opto/material/.../fibras%20ópticas1.pdf](http://www.herrera.unt.edu.ar/opto/material/.../fibras%20ópticas1.pdf)

⁴⁹Es un número adimensional que caracteriza el rango de ángulos para los cuales el sistema acepta luz. es.wikipedia.org/wiki/Apertura_numérica

⁵⁰Perturbación que recorre la cuerda de longitud finita. www.fisica-facil.com/Temario/Ondas/Teorico/.../centro.htm

Figura 15: Estructura física de la fibra



Fuente: Lin Nariot A practicalfiber guide OpticalSystems

2.5.4.1. FIBRA DE INDICE DE ESCALON SENCILLO

Como se observa en la figura E, este tipo de fibra se caracteriza por:

- Poseer un núcleo central
- La luz sola toma una sola trayectoria
- La cubierta exterior es aire
- Los índices refractivos son 1.5 para el vidrio y 1.0 para el aire
- El ángulo crítico es pequeño $\alpha = 42^\circ$ pero en casos específicos es de 77°
- Fiel acoplamiento con el rayo de luz

2.5.4.2. FIBRA DE INDICE DE ESCALON MULTIMODO

En la figura 16, se observa este tipo de fibra, Cuyas características son:

- Núcleo grande
- Ingresan rayos cantidad de luz
- La luz se propaga de manera zigzagueante
- El desplazamiento no es uniforme en el tiempo

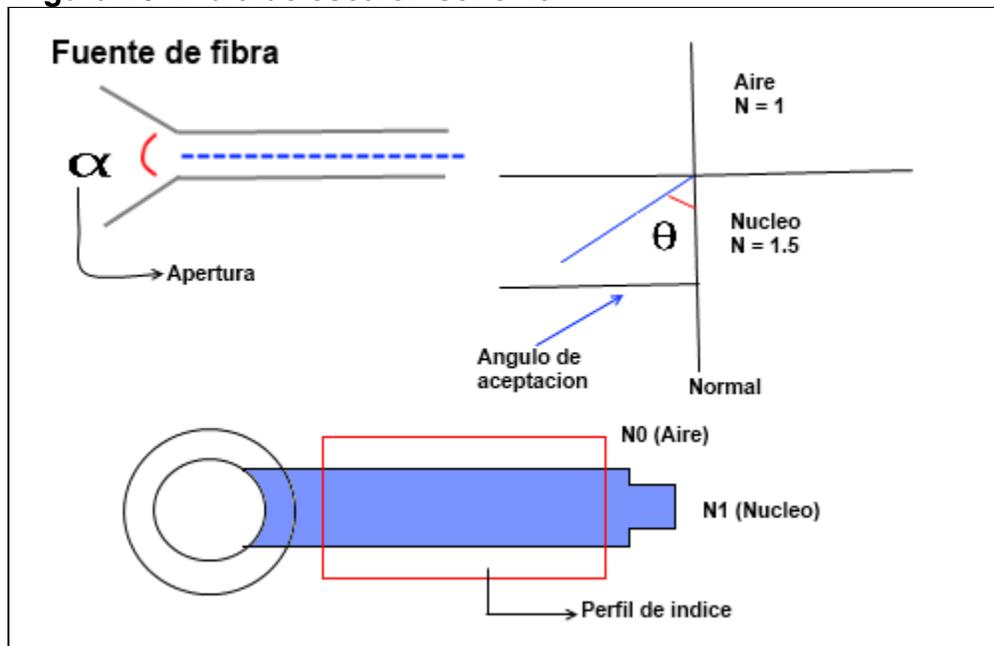
2.5.4.3. FIBRA DE INDICE GRADUADO MULTI MODO

Esta fibra, permite valorar las características siguientes:

- ❖ Índice refractivo no uniforme
- ❖ Concentración en el centro, pero disminución en el borde
- ❖ Cambio o salto del rayo de nivel menos a mas denso
- ❖ Los rayos se refractan constantemente y se doblan continuamente
- ❖ La velocidad es inversamente proporcional del índice refractivo

En la figura 16, se ilustra este tipo de fibra.

Figura 16: Fibra de escalón sencillo



Fuente: TomassiWayde, Electronic communication

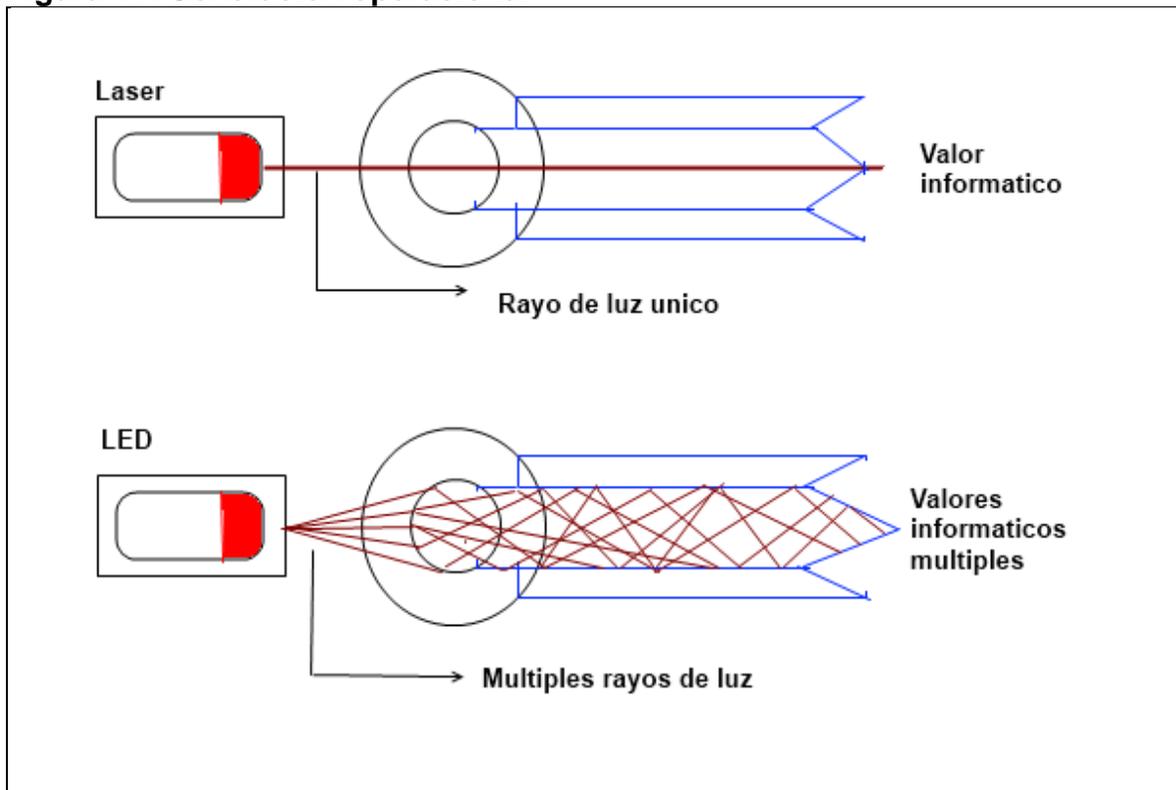
2.5.5. GENERACION OPERACIONAL

El proceso de intercambio de calores mediante fibra óptica, permite diferenciar 2 niveles, a saber (Rodríguez, 2005):

- ❖ Nivel uninodo
 - Fuente emisora: Laser (ILD)
 - Formato: simple
- ❖ Nivel multinodo
 - Fuente emisora: Led
 - Formato: múltiple

Dicha generación se aprecia con la figura 17

Figura 17: Generación operacional



Fuente: Tomassi Wayde, Electronic communications

2.5.6. PERDIDA DE TRANSICIÓN

La fibra óptica, como entidad física o medio integral de transporte de valores informáticos, posee las pérdidas de transmisión a continuación listados (Enderich, 2010):

- ❖ Pérdida de absorción⁵¹

⁵¹ Cuando una onda electromagnética pasa a través de un blindaje, su amplitud decrece exponencialmente debido a las corrientes inducidas en el mismo. www.lpi.tel.uva.es/~nacho/.../blindajes.../Perdidas_de_absorcion.htm

- ❖ Análoga a la disipación de potencia en un cable como UTP
- ❖ La luz se convierte en calor
- ❖ El índice de absorción oscila entre 1 y 100 dB/km
- ❖ La absorción puede ser:
 - Ultravioleta
 - Infrarroja
 - Resonancia de ION

- ❖ Pérdida por radiación⁵²
 - Causada por dobleces en fibra
 - Micro doblamiento por contracción tráfega
 - Discontinuidad en fibra

- ❖ Dispersión modal⁵³
 - Esparcimiento de pulso
 - Diferencia de tiempos de propagación de rayos de luz
 - Diversa trayectoria de rayos
 - Solo ocurre en fibra multimodo
 - Se elimina con fibras de escalón modo simple

- ❖ Dispersión cromática⁵⁴
 - Rayos viajan a velocidades diferentes
 - Emisión vía LED
 - Flujo multimodo
 - Recepción distorsionada
 - Se elimina empleando ILD

- ❖ Dispersión de RAYLEIGH
 - Difracción por el choque del rayo contra impurezas de vidrio
 - La luz se reparte en múltiples direcciones
 - Se pierde potencia de la luz por escape de rayos, unos continúan por la fibra y otros se pierden en la cubierta.

⁵²Estas pérdidas se presentan cuando la fibra sufre de dobleces. es.wikipedia.org/wiki/Fibra_33ptica

⁵³Es la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz. books.google.com.co/books?isbn=9702603161

⁵⁴se observa en las fibras tipo unimodo, ocurre cuando los rayos de luz emitidos por la fuente y se propagan sobre el medio, no llegan al extremo opuesto en el mismo tiempo. es.wikipedia.org/wiki/Fibra_33ptica

2.5.7. DIFUSIÓN DE PULSO

El flujo de información en la fibra, permite identificar dos modalidades de difusión, a saber:

- ❖ UPRZ (regreso a cero unipolar)
- ❖ UPNRZ (no regreso a cero unipolar)

Dichos esquemas, se muestran en la figura 17, cuando se transmite vía fibra óptica, se debe considerar la constante de dispersión de pulso que se expresa como

$$\Delta T(\text{Nano segundos}) = \Delta t \left(\frac{Ns}{Km} \right) \times L(km)$$

- ❖ UPRZ

$$FB = \frac{1}{(\Delta T)L}$$

- ❖ UPNRZ

$$Fb(bps) = \frac{1}{(2\Delta t)L}$$

Por ejemplo, para una fibra de 20 km de longitud y una constante de difusión de pulso de 5ns/km, las máximas velocidades serán:

- ❖ REGRESO A CERO (UPRZ)

$$\begin{aligned} Fb &= \frac{1}{\frac{5Ns}{km} * 20 km} \\ &= \frac{1}{100Ns} \\ &= 10 Nbps \end{aligned}$$

- ❖ NO REGRESO A CERO (UPNRZ)

$$\begin{aligned} Fb &= \frac{1}{(2 * 5Ns/km) * (20 km)} \\ &= \frac{1}{200Ns} \\ &= 5 Nbps \end{aligned}$$

Con este fundamento teórico, se procede en el capítulo tres a explicar funcionalmente las características de las redes ópticas, núcleo formal del presente proyecto.

CAPITULO 3

ESTRUCTURA OPERACIONAL DE REDES

Se presentan en este capítulo los conceptos que referencian los componentes formales del hardware especializado, la estructura de las redes de acceso, el encaminamiento y asignación de longitud de onda, las capas de gestión y los esquemas de control, permitiendo que el interesado contextualice e instrumentalice los principios requeridos para diseñar una solución telemática en el escenario óptico.

3.1. ESTRUCTURA HARDWARE

El intercambio de valores informáticos en las redes ópticas, demanda de un componente mecánico muy especializado, dado los problemas y complejidades de los procesos de encaminamiento y asignación de longitud de onda.

La plataforma de soporte estructural básico en toda red óptica, se describe a continuación (Ramaswani, 2002)

3.1.1. PLATAFORMA CONVENCIONAL

Por plataforma convencional, se entiende el conjunto de dispositivos fundamentales que definen la operación de un sistema (Francay, 2008), agrupa:

- ❖ Terminales de línea (OLT⁵⁵): equipos que permiten la multiplexación y demultiplexación de longitudes de onda (ver figura 18).

Operadores de canales: conocidos como insertores y extractores de canales por su acrónimo en inglés (OADM⁵⁶), capturan la señal WDM, para distribuir a puertos locales algunas longitudes de onda, transfiriendo el gradiente funcional al puerto de salida, tal como se ilustra en la figura 18.

- ❖ Matrices de continuación (OXC⁵⁷)

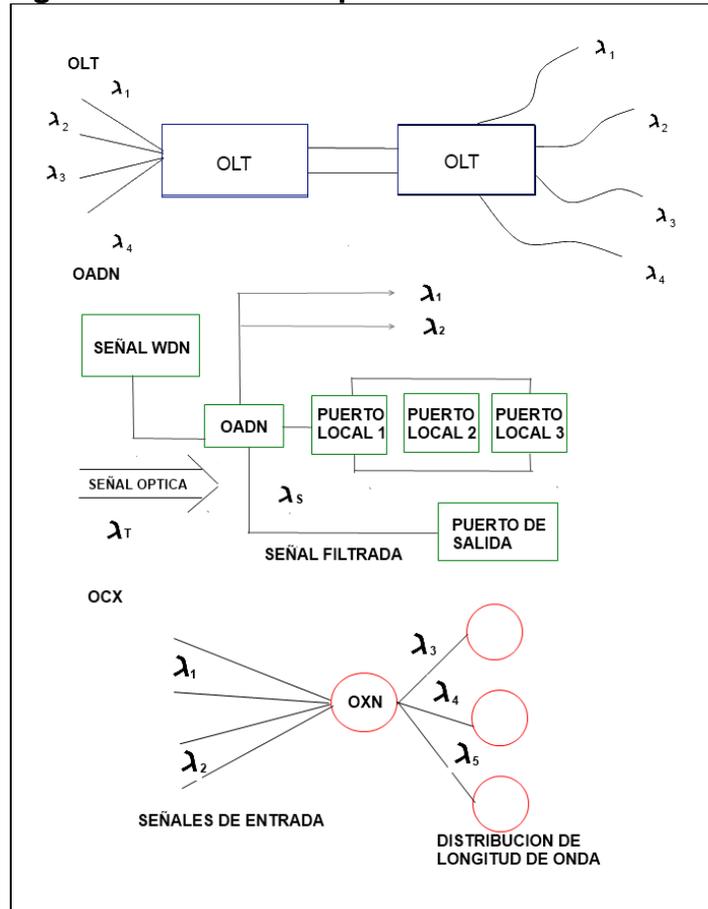
⁵⁵Optical line terminal, Es el elemento activo situado en la central telefónica. De él parten las fibras ópticas hacia los usuarios (cada OLT suele tener capacidad para dar servicio a varios miles de usuarios). es.wikitel.info/wiki/UA-Redes_PON_Equipos

⁵⁶Es un dispositivo que se utiliza en los sistemas de división de longitud de onda de multiplexación para multiplexar y enrutar diferentes canales de luz dentro o fuera de una fibra monomodo (SMF). eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0413t.pdf

⁵⁷Es un elemento cable en las redes WDM realiza la misma función que un conmutador digital electrónico en las redes telefónicas pero a nivel óptico, es decir es capaz de dirigir una señal óptica desde cualquiera de sus entradas hacia cualquiera de sus salidas. bear.warrington.ufl.edu/centers/purc/DOCS/papers/sp_02.pdf

Dispositivos que conmuta una longitud de onda, al dispositivo de salida solicitado, sin requerir su conversión operacional, tal como se señala en la figura 18

Figura 18: Hardware óptico convencional



Fuente: Aporte realizadores

3.1.2. HARDWARE ESPECIALIZADO

La mecánica avanzada o especializada, responde a la confiabilidad y disponibilidad del sistema óptico pues gracias a este componente se explota con amplitud el principio de fotosensibilidad⁵⁸, se identifica en este nivel, los equipos siguientes:

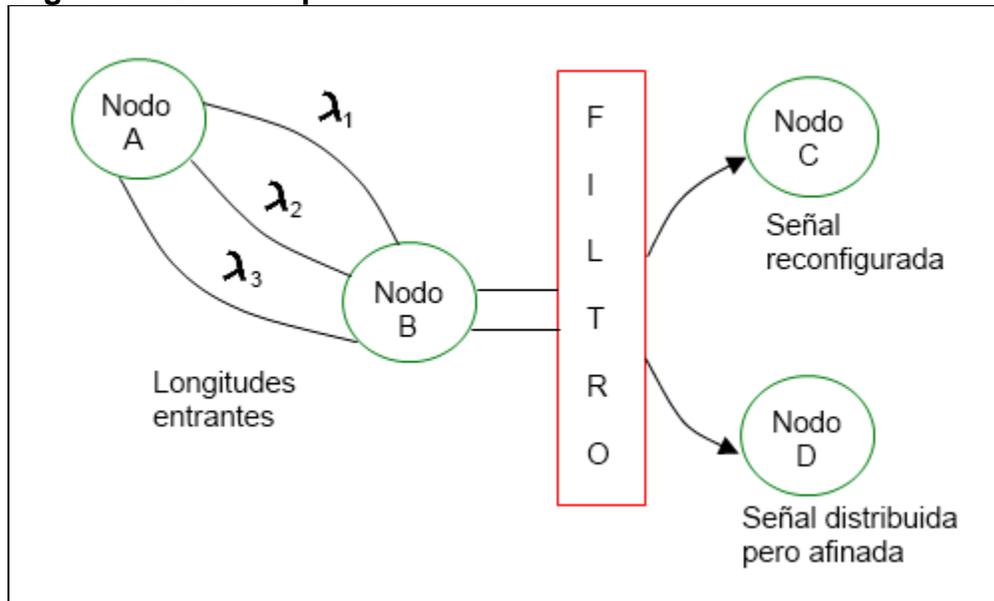
3.1.2.1. FILTROS

Unidades que garantizan la funcionalidad de los OADM, al suministrar niveles de confiabilidad en el cálculo de números de longitud de onda, al dotar de

⁵⁸ Al exponer la luz a la fibra ultravioleta se produce una variación del espectro de absorción, que se traduce en un cambio de refracción según las relaciones de Kramers – Kroing. bibing.us.es/proyectos/abreproy/.../Memoria%252FArchivo1.pdf

modularidad los procesos de inserción y extracción y al permitir la reconfigurabilidad en tiempo de operación, sin interrumpir el flujo al habilitar distribuciones de banda en paralelo (ver figura 19).

Figura 19: Filtros ópticos



Fuente: Aporte realizadores

- ❖ RED DE DIFRACCIÓN DE BRAG (FBG⁵⁹)
Técnicamente conocidos como “FIBRE BRAGG GRATING”, permite la variación espacial periódica al reflejar la región de espectro, producto de la interpretación de las propiedades de la fotosensibilidad (ver figura 20).

3.1.2.2. FILTRO MACH-ZEHNDER⁶⁰

Interferómetro de doble haz, que opera mediante acopladores para modificación de función periódica, al dividir las longitudes de onda que genera su periodo espectral, permitiendo el despliegue en cascada de la señal (ver figura 21) matemáticamente valora (Capmany, 1999):

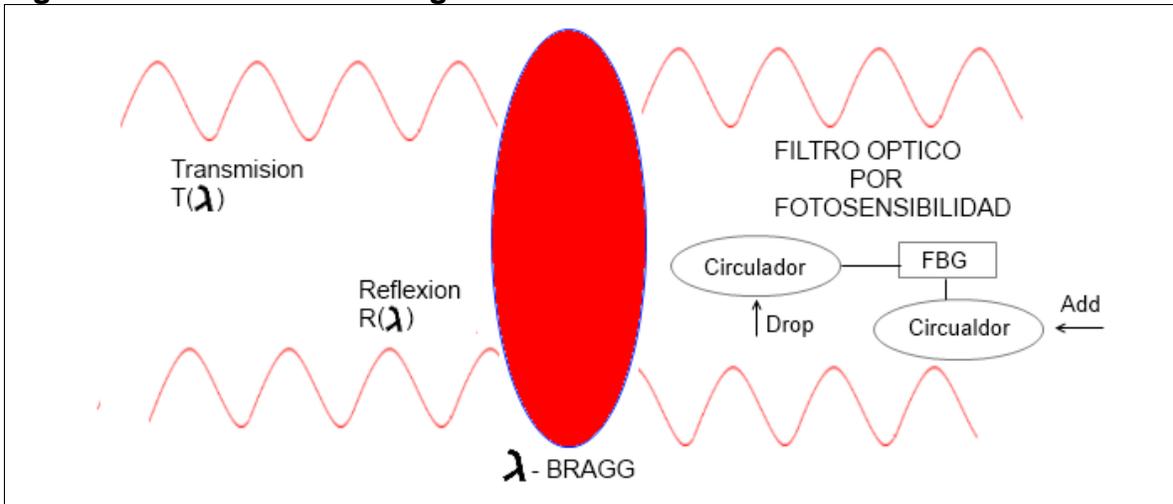
- ❖ Periodo espectral

$$FSR = \frac{c}{N\Delta L}$$

⁵⁹Es un tipo de reflector de Bragg distribuido, construido en un segmento corto de fibra óptica que refleja longitudes de onda particulares de la luz y la transmite a todos los demás. www.uaeh.edu.mx/.../Temas%20selectos%20de%20fibra%20optica.

⁶⁰Es un dispositivo utilizado para determinar el desplazamiento de fase relativo entre dos haces colimados a partir de una fuente de luz coherente. www.lacie-unlam.org/uea2010/accepted_res.html

Figura 20: Difracción de Brag



Fuente: Aporte realizadores

❖ Función de transparencia

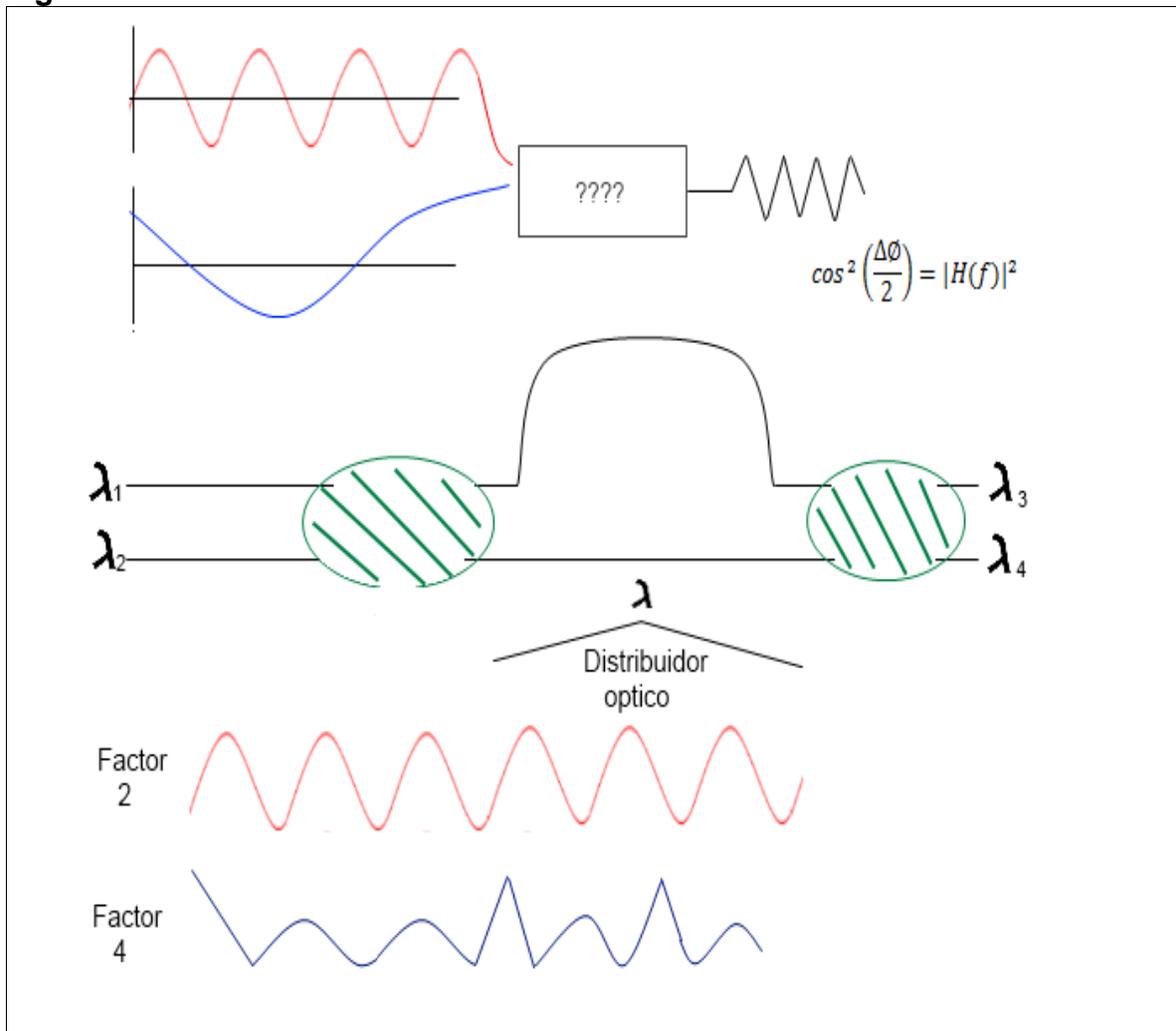
$$\begin{aligned}
 |H(f)|^2 &= \cos^2 \left(\frac{\pi N F \Delta L}{c} \right) \\
 &= \cos^2 \left(\frac{\Delta \phi i}{c} \right) \\
 &= \prod_{i=1}^M \cos^2 \left(\frac{\Delta \phi i}{c} \right) \\
 &= \left[\frac{\text{sen} (2\pi J / FSR)}{n \text{sen} (2\pi J / FSR l)} \right]
 \end{aligned}$$

3.1.2.3. FILTRO ACUSTO – OPTICO⁶¹

Opera con ondas acústicas, que genera la red de difracción de Brag, para estructurar la guía de onda para el haz de luz y valora el contenido lógico de envío transaccional sobre el segmento polarizador (ver figura 21).

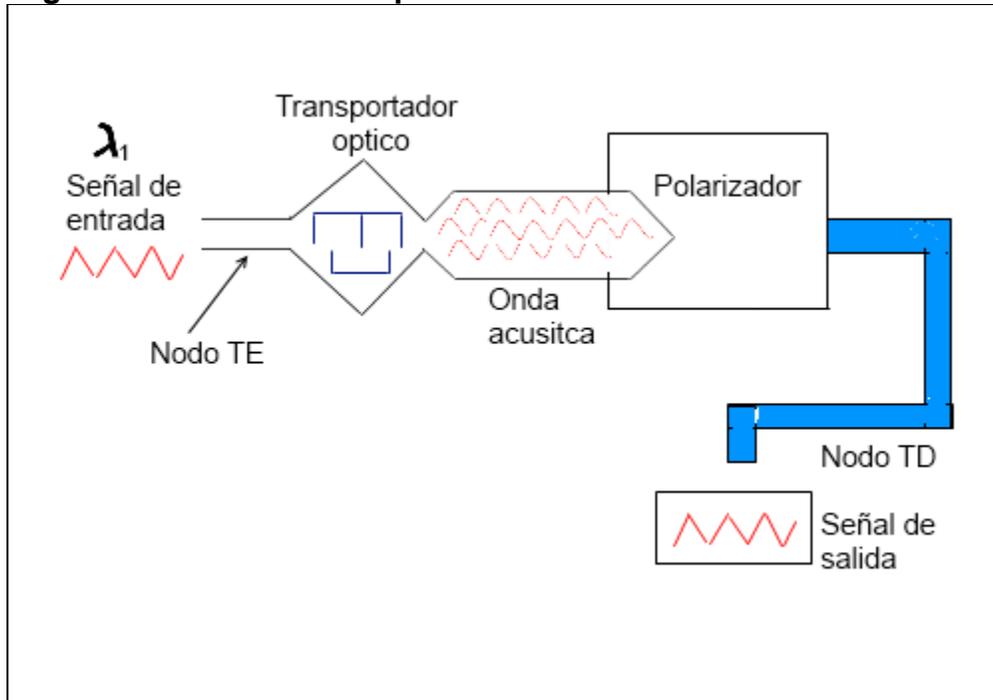
⁶¹ Es una rama muy extensa de la Física aplicada que se ocupa de las interacciones entre las ondas luminosas y las acústicas. Su aplicación puede ser para modular y controlar la luz mediante vibraciones mecánicas de alta frecuencia. acustoptica.fisica.edu.uy/

Figura 21: Filtro Mach- Zehnder



Fuente: Ortega Beatriz, redes ópticas

Figura 22: Filtro acusto óptico



Fuente: Jackman N., OXC for optical network

3.1.2.4. FILTROS AWG⁶²

Multiplexor y demultiplexor planar, basada en el principio formal del interferómetro Mach-Zehnder incluyendo una diferencia de longitud constante entre los acopladora para operar cambios de fase, con función de transferencia dado por

$$T_s = \frac{|\sum_{R=1}^M P_8^s e^{j\theta}|}{\rho^2}$$

Donde

T_s = función de transferencia

ρ = guían de onda

P_8^s = potencia de salida de acoplamiento

θ = Fase de la guía de onda

⁶²Astaro web Gateway es una solución integrada de software e incluso hardware (UTM) que proporciona filtrado de contenido para la navegación, con varios niveles de seguridad. www.adcosy.com/productos/

3.1.2.5. CONMUTADORES ESPACIALES⁶³

Dispositivos que garantizan la baja pérdida por inserción, total reducción de la diafonía, no cambio de entrada por falla de electricidad, dependencia PLD⁶⁴ – PLN⁶⁵ (escenas de polarización), caracterizados por:

- ❖ Distribución simple
- ❖ Distribución cruzada
- ❖ Conmutación por espejos y acopladores direccionales (conmutadores mecánicos⁶⁶)
- ❖ Conmutación digital (conmutadores micro electromecánicos MEM⁶⁷), que operan por agrupación de obleas que actúan como matrices ópticas. Los MEM, facilitan el manejo y operación con espejos 2d y 3d, según su técnica de fabricación, a saber:
 - SF: múltiples capas sobre el sustrato de silicio (surfacemicromaching⁶⁸)
 - BN: se acoplan estructuras de conmutación micro eléctricas sobre la oblea de silicio (bulkmicromaching⁶⁹).
- ❖ Operación de refracción por función de temperatura (conmutadora termo-óptico)
- ❖ Paso de luz por la guía ondas impresas que sobre el silicio, generan burbujas de aire (conmutador de burbuja)
- ❖ Uso de amplificadores ópticos que varían la corriente de polarización
- ❖ Rotación y polarización ortogonal al operar el angulo de deflexión, con conmutadores de cristal liquido (ver figura 23)

⁶³Consiste en una transferencia física de un multiplex a otro. Dicha transferencia de bits es instantánea, por lo que no implica modificación en el intervalo de tiempo de canal. shaldowcat.blogspot.com/2011/03/v-behaviorurldefaultvml.html

⁶⁴Dispositivo lógico programable. ingridbasanta.blogspot.com/.../dispositivos-lgicos-programables.html

⁶⁵Procesamiento de lenguajes naturales. es.wikipedia.org/wiki/Procesamiento_de_lenguajes_naturales

⁶⁶Son los encargados de abrir o cerrar la continuidad del circuito entre dos puntos o mas, al actuar mecánicamente sobre un mando. www.ivanfl.com/jrvilda/index.php?seccion=Robotica.

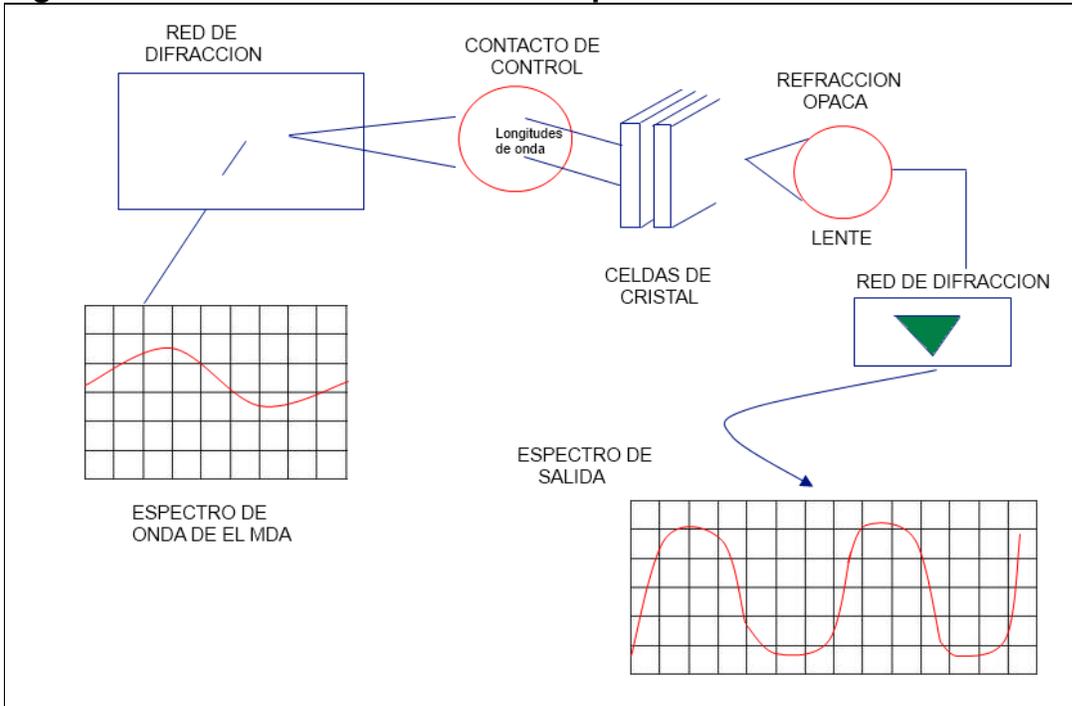
⁶⁷Comprende medios de conmutación micromecánicos que pueden ser accionados entre dos posiciones: una primera posición (apagado) y una segunda posición (encendido), y medios de actuación para accionar la posición de los medios de conmutación. patentados.com/.../conmutador-mems-sistema-micro-electro-

⁶⁸Micromecanizado de superficie construye microestructuras por deposición y grabado de diferentes capas estructurales en la parte superior del sustrato. es.wikipedia.org/wiki/Sistemas_microelectromecánicos

⁶⁹Es un proceso utilizado para producir sistemas micromaquinaria o microelectromecánico. www.aeih.org/ih/Congresos/Congreso-23/.../B3-4-D.pdf

- ❖ Conversión opto-eléctrica con sensibilidad a la diafonía y al Jitter.

Figura 23: Estructura de conmutador óptico



Fuente: Franco José, Óptica network

3.1.2.6. CONECTORES DE LONGITUD DE ONDA

La física al estudiar las ondas electromagnéticas dispone las propiedades de radiación de ondas y su proceso de detección y conversión (Blatt, 2008) estableciendo que su detección se realiza de estas dos formas:

- ❖ Antena vertical que responde al campo magnético alternativo
- ❖ Antena en espiral que hace que la onda induzca fuerza electromotriz (FEM) en la espiral

Hechos que se registran en la figura 24 y a niveles de conversión, se aplica en mapeo formal de Fourier (Tomasi, 2010), para obtener los esquemas a continuación citados:

- ❖ ONDA TRIANGULAR

$$V(t) = \frac{4v}{\pi^2} \cos wt + \frac{4v}{(3\pi)^2} \cos 3wt + \frac{4v}{(5\pi)^2} \cos 5wt$$

$$= \sum_{N=1}^{\infty} \frac{4v}{(N\pi)^2} \cos wt N \epsilon z^+$$

❖ ONDA CUADRADA

$$V(t) = V_0 \frac{4v}{\pi} \left[\sin wt + \frac{1}{3} \sin 3wt + \frac{1}{5} \sin 5wt \right]$$

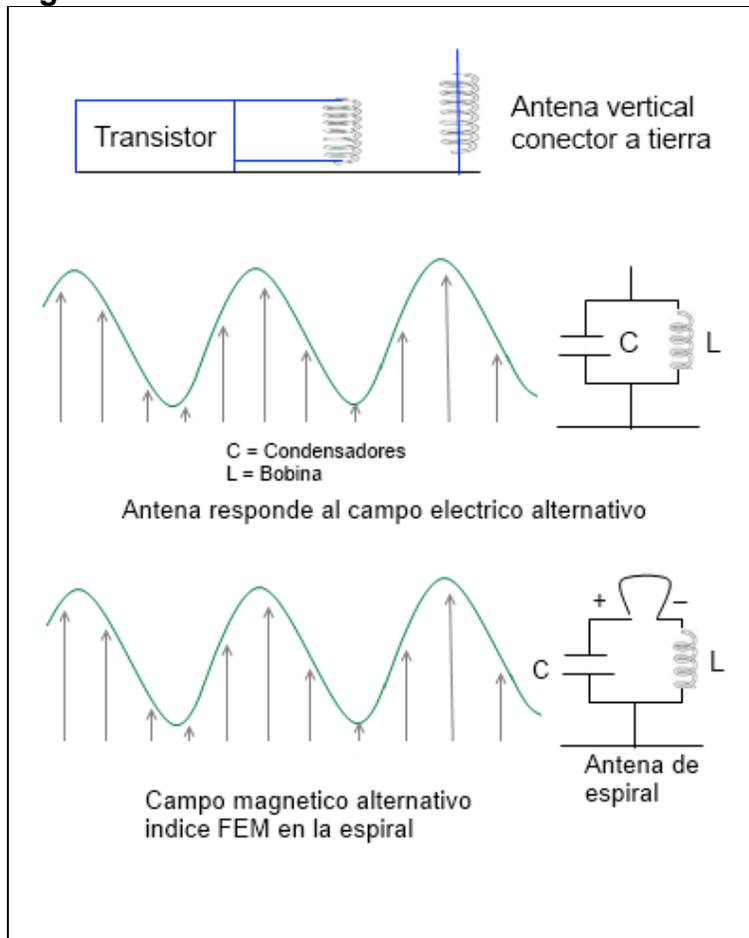
$$= V_0 \frac{4v}{\pi} \sum_{N=1}^{\infty} \frac{1}{N} \sin Nwt N \epsilon z^+ \text{ impares}$$

❖ ONDA ½ PULSO

$$V(t) = \frac{V}{\pi} + \frac{V}{2} \sin Nt - \frac{2V}{3\pi} \cos 2wt - \frac{2V}{15\pi} \cos 4wt$$

$$= \frac{V}{\pi} + \frac{V}{2} \sin wt + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{V(1 \pm 1)^N}{\pi(1 - N^2)}$$

Figura 24: Detección de ondas

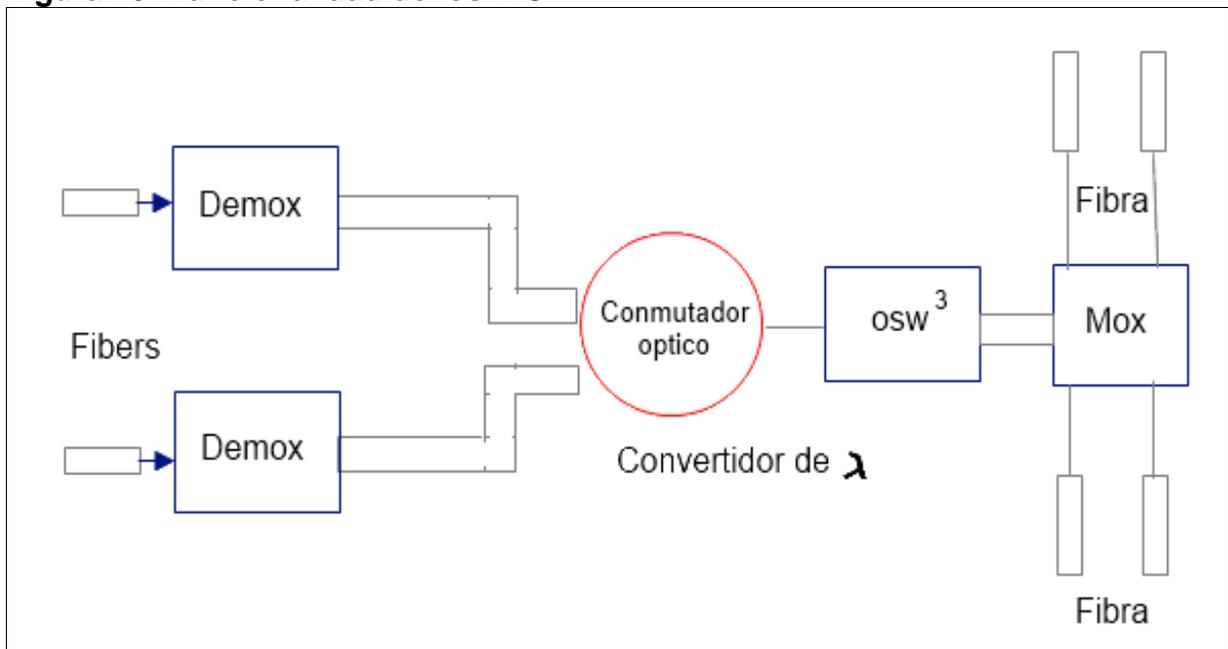


Fuente: Blatt Frank, Principies of phisycs

Para el escenario de la fibra óptica, es preciso contar con dispositivos especiales que tomen como variable la longitud de onda, para aumentar la eficiencia de trabajo en la red, el conversor garantiza que si un nodo emite la longitud de onda λ_1 , con esta pueda enlazar gracias a su segmentación los nodos X y Z, al trabajar λ_1 como λ_2 y λ_3 (You, 2003).

La figura 25, ilustra la función de los WC (WaveConverters), al permitir explorar de forma eficiente las longitudes de onda, permitiendo la conectividad entre redes no coordinadas y al poder adaptar portadoras ópticas multiplexoras (WDM).

Figura 25: Funcionalidad de los WC



Fuente: Aporte realizadores, modificación original Francoy

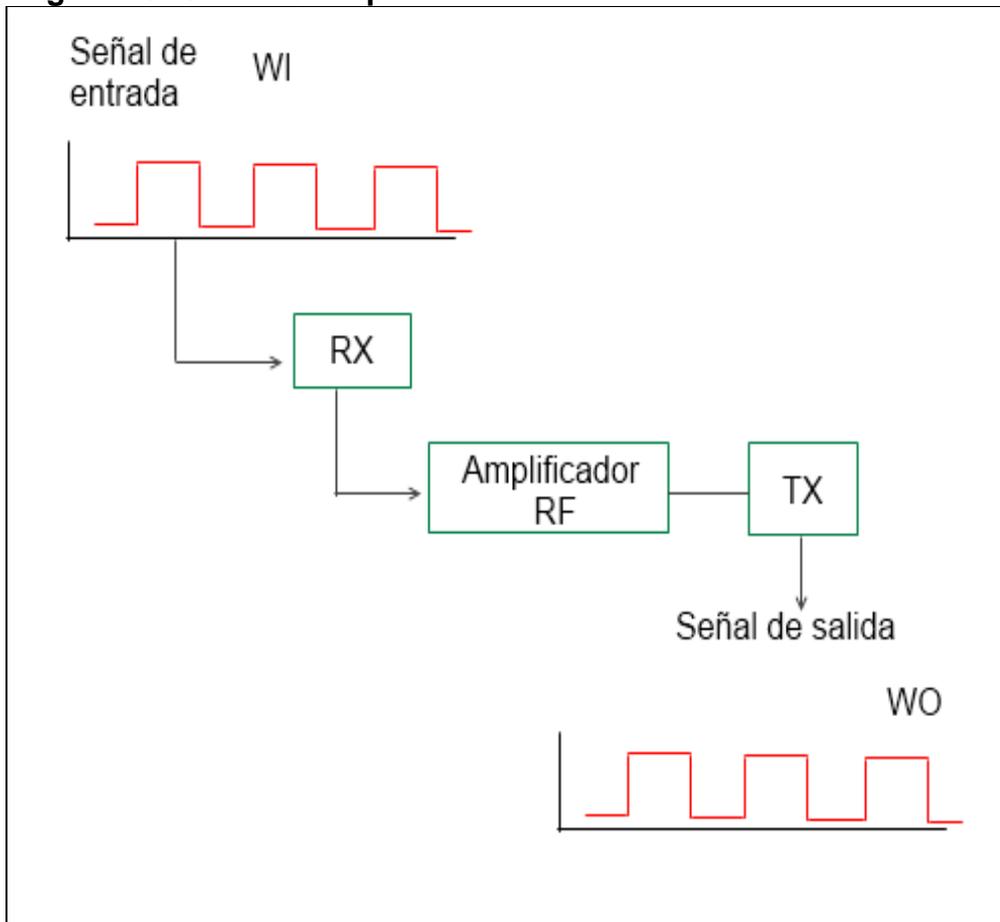
Los procesos de conversión de mayor utilización se describen a continuación:

❖ Conversión opto electrónica

- Se toma la señal en su estado digital
- Se regenera y transmite mediante laser
- Es necesario poseer un amplificador RF²
- El ruido que se incorpora se eliminan empleando regeneración tipo 2R, que al introducir el Jitter
-

Su funcionalidad se ilustra en la figura 26

Figura 26: Conversor opto eléctrico



Fuente: Yoo S., Wavelengthconversion

❖ CONVERSION POR PUERTO OPTICO

El proceso, técnicamente se conoce con el nombre de óptica Gating, que opera con modulación XGM^2 (Cross GainModulation), explotando la saturación de ganancia del amplificador, para minimizar el índice de reparación y el cambio de fase de la señal, dado su elevada porción óptica trabajando de esta forma

- Reducción de densidad de portadora
- Modulación en la ganancia invertida
- Amplificación de ganancia
- Eliminación de señal modular para filtrar la señal de datos

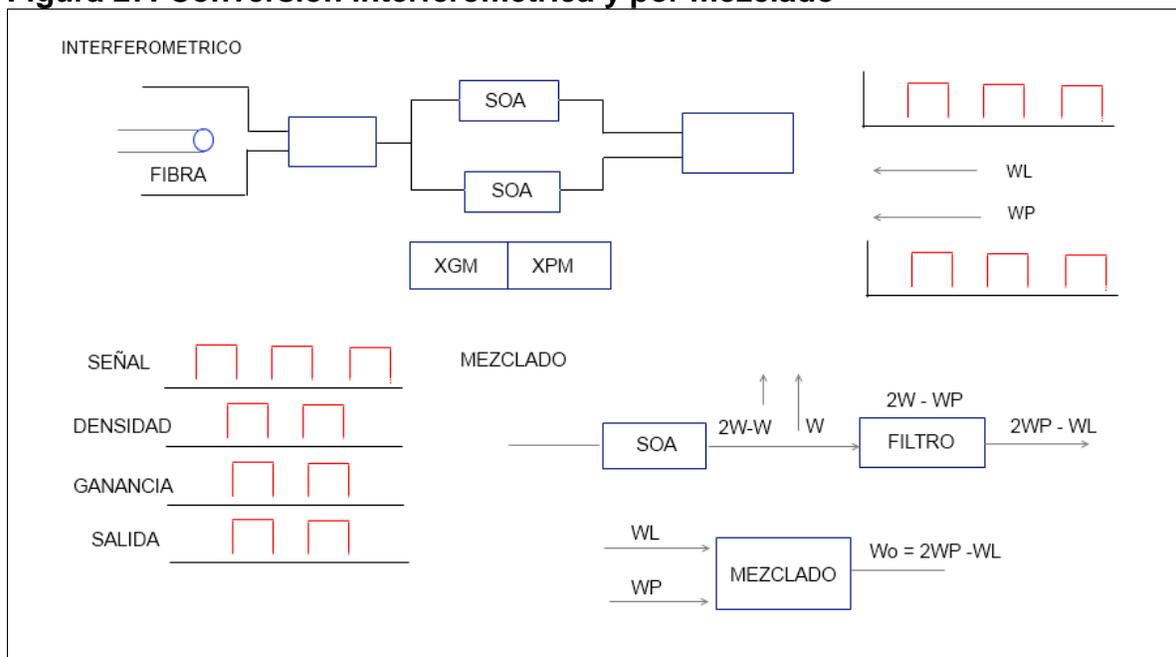
❖ **CONVERSIÓN INTERFEROMÉTRICA**

Saca provecho de la modulación XGN para convertir la longitud de onda al modular la fase sonora valorando el índice de difracción, produciendo la XPA (Cross Phase Modulation), para obtener longitudes filtrados y totalmente integra (ver figura 27).

❖ **CONVERSIÓN POR MEZCLADO**

Basado en el mezclado no lineal de 4 ondas al operar tres ondas de entrada que al combinarse genera la cuarta, que al poseer potencia reducida exige el empleo de un SOA para aumentar g (ver figura 27).

Figura 27: Conversión interferométrica y por mezclado



Fuente: CapmanyJose, Opticalnetwork

3.2. REDES DE ACCESO ÓPTICO

Formalmente, este concepto discrimina la infraestructura física que se encuentra próxima al usuario final (Harstand, 2002), tal como se observa en la figura 28, garantizando la disposición de todos los servicios programados en el conjunto de hardware especializado por proceso óptico OTDA⁷⁰ y la generación de pulsos cortos para disponer velocidades de hasta 622 Mbps, así se confirma que la función de la red de acceso es la de enlazar la red de transporte con la red INTERNA O DEL ABONADO, permitiendo:

⁷⁰multiplexación por división de tiempo óptico.
www.dsif.fee.unicamp.br/~moschim/cursos/introduccion.htm

- ❖ Autenticación de usuarios
- ❖ Control de TARIFACION
- ❖ Actualización de software
- ❖ Ejecución de protocolos para control de trafico ascendente
- ❖ Control del QoS⁷¹ por clasificación de trafico
- ❖ Transformar, conmutar, enrutar y multiplicación de trafico

Los componentes de la red de acceso son tres a saber:

- ❖ AN⁷² (AccessNode)
- ❖ ONU⁷³ (OpticalUnit)
- ❖ NT⁷⁴ (Network Termination)

El AN, es responsable de conectar la red de usuario a la de transporte y se ocupa de:

- ❖ Modular datos
- ❖ Demodulación ascendente
- ❖ Supervisión funcional de MAC⁷⁵
- ❖ Valoración del AOS (Quality of service)
- ❖ Multiplexación de trafico
- ❖ Señalización

La ONU realiza la conversión óptico-eléctrica para llevarlas al usuario, según necesidad y el NT, que siempre esta situado en el eje de acción del usuario, se ocupa de (Ortega, 2009):

- ❖ Verificación de acople entre el cableado de usuario y el cableado formal de red.
- ❖ Filtrado RF
- ❖ División
- ❖ Remodelación
- ❖ Seguridad
- ❖ Realimentación

⁷¹tecnologías que garantizan la transmisión de cierta cantidad de información en un tiempo dado. seccion01.orgfree.com/index.php?option=com_

⁷²dispositivo de red, que normalmente se encuentra en un servicio de proveedor de la oficina central o gabinete calle, que termina de acceso al bucle conexiones de los abonados. repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/735/1/T-ESPE-025270.pdf

⁷³ es un dispositivo que transforma entrantes ópticos señales en la electrónica en los locales de un cliente con el fin de proporcionar telecomunicaciones de servicios a través de una fibra óptica de red. allman.rhon.itam.mx/~jincera/IntroRedesDigitales.pdf

⁷⁴Un dispositivo para conectar cámaras de red digital de servicios integrados (RDSI) equipo terminal del abonado a las líneas RDSI. trajano.us.es/~rafa/ARSS/apuntes/tema6.pdf

⁷⁵ Control de Acceso medio. webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/.../06_controlAccesoAlMedio.pdf

- ❖ Supervisión de red
- ❖ Control toma de tierra

Según su estructura operacional, las redes de acceso se clasifican como se listan aquí (Wagner, 1990):

- ❖ Redes fibra-coaxial o híbrida (HFC)⁷⁶
- ❖ Redes por técnica de digitalización (XDSL)⁷⁷
- ❖ Redes de difusión múltiple (FTTX)⁷⁸
- ❖ Redes terminales de radio

En este trabajo se presentara el esquema FTTX (Fiber To The X), pero previamente se desarrollara y se expondrá la arquitectura operacional de un esquema óptico, para poder entender su esquema funcional.

3.2.1. ESQUEMA FUNCIONAL RED ÓPTICA

Inicialmente el universo óptico, centra su nivel de función en el referente PDH⁷⁹(Plesiochronous Digital Hierarchy) que surge al finalizar la década de los años 60, pero que por sus debilidades fue reemplazado por la jerarquía digital sincrónica (SDH)⁸⁰, que apareció con dos descriptores El SONET⁸¹ para estados unidos y la versión SDH validada por la ITU⁸² (International Telecommunication Union), y la ETSI⁸³ (European Telecommunication Standard Institute), hecho que ocurre al comenzar 1990. (Perros, 2005).

SDH, especifica a nivel funcional, los ejes de circuito, trayecto y transmisión, como se observa en la figura Z, sus funciones son:

⁷⁶ una red que incorpora tanto fibra óptica como cable coaxial para crear una red de banda ancha. webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/.../06_controlAccesoAlMedio.pdf

⁷⁷ surgen para maximizar el rendimiento del par de cobre que forma la red telefónica de siempre. www.abmrexel.es/img/descargas/pdf/pdf_desc_43.pdf

⁷⁸ Sirve para designar cualquier acceso de banda ancha sobre fibra óptica que sustituya total o parcialmente el cobre del bucle de acceso. www.abmrexel.es/img/descargas/pdf/pdf_desc_43.pdf

⁷⁹ Es una tecnología usada en telecomunicación tradicionalmente para telefonía que permite enviar varios canales telefónicos sobre un mismo medio (ya sea cable coaxial, radio o microondas) usando técnicas de multiplexación por división de tiempo y equipos digitales de transmisión.

⁸⁰ Un sistema de transporte digital sincrónico diseñado para proveer una infraestructura más sencilla, económica y flexible para redes de telecomunicaciones. webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/.../06_controlAccesoAlMedio.pdf

⁸¹ Es un estándar para el transporte de telecomunicaciones en redes de fibra óptica

⁸² es el organismo especializado de Telecomunicaciones de la Organización de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras. www.abmrexel.es/img/descargas/pdf/pdf_desc_43.pdf

⁸³ Es una organización de estandarización de la industria de las telecomunicaciones (fabricantes de equipos y operadores de redes) de Europa, con proyección mundial. <http://bandaancha.eu/foros/tipos-cable-red-1651591>

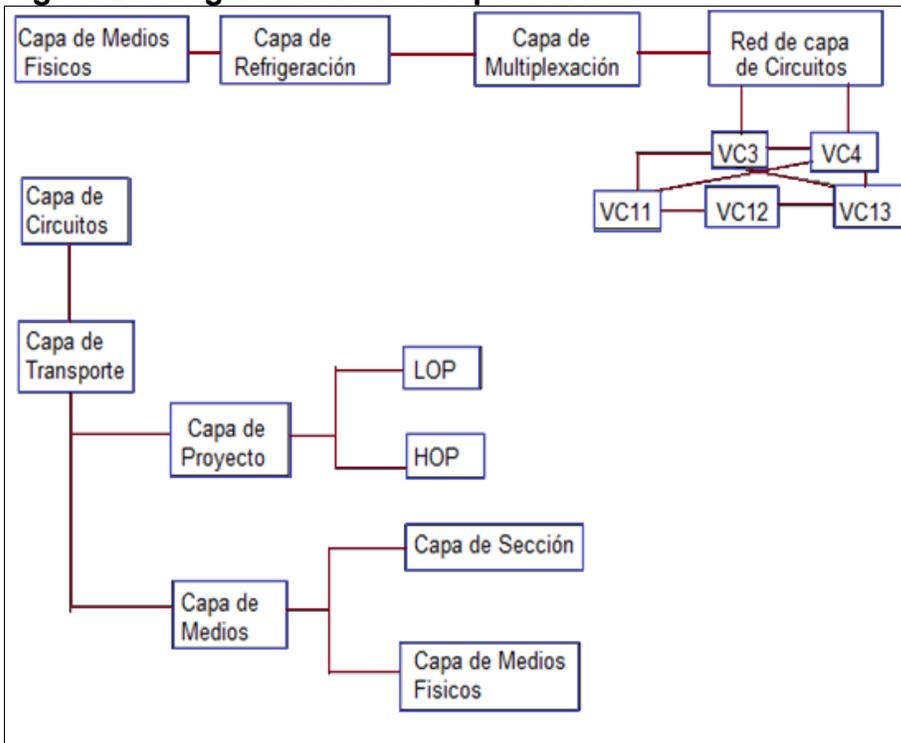
- ❖ Eje de circuito
 - Conexión extremo a extremo
 - Toma la información de llegada y le suma información de control para diferenciar la señal y la envía al nodo final o receptor.
- ❖ Eje o capa de camino / Trayecto (PATH)
 - Establece la ruta por los nodos
 - Crea un circuito óptico para distribuir la información
- ❖ Eje de transmisión
 - Valora la función de los componentes de acción: láseres, fibras, amplificadores, transmisores y antenas
 - Controla la funcionalidad del proceso de transmisión

El proceso de transmisión en la red involucra estas entidades:

- ❖ Ensamblador
- ❖ Multiplexor
- ❖ Regeneración

Con la figura 28, se presenta la estructura de capas SDH (Capmany, 2008), señalizando la capa de circuitos, capa de trayecto y capa de transmisión.

Figura 28: Segmentación de capas SDH



Fuente: Capmany Jose. Optical Network

El envío de información por SDH, se realiza mediante tramas STM-1⁸⁴ (Synchronous Transport Module), que se forman con 9 filas y 270 columnas que se envían cada 125 µs para operar a 155 MEGABITS por segundo; su segmentación, permite identificar dos componentes o secciones a saber:

❖ Cabecera

- Administra la información
- Corrige errores
- Sincroniza la información de envío
- Longitud de 9 columnas (0-8)
- Se divide en los núcleos de operación:
 - RSOH⁸⁵ (Regenerator Section Overhead): 3 filas
 - Pointer control (fila 4)
 - MSOH⁸⁶ (Multiplexing Section Over Head) Filas 5 a 9, almacena los bytes de información para monitoreo.

❖ Cuerpo o contenido

- 261 columnas (9 - 260)
- Información del valor informático

SDH, opera con los niveles de velocidad, que se enumeran como:

- ❖ SONET: 51.84 Mbps
- ❖ STS-3/ STM-1: 155.2 Mbps
- ❖ STS-12 / STM-4: 622.08 Mbps
- ❖ STS-24: 1244.16 Mbps
- ❖ STS-48 / STM-16: 2488.32 Mbps
- ❖ STS-192 / STM-64: 9953.28 Mbps
- ❖ STS-768 / STM-256: 39814.32 Mbps

Es necesario, tener presente que el encapsulamiento de información en la red óptica mediante SDH, requiere de:

- ❖ Contenedor virtual que forma la unidad tributaria (TU) a la unidad administrativa (UA).
- ❖ Distribución por valoración de capacidad de equipo y de encapsulamiento de señales para evitar multiplexación.

⁸⁴ Unidad de transmisión básica de la Jerarquía Digital Síncrona (SDH) <http://bandaancha.eu/foros/tipos-cable-red-1651591>

⁸⁵ Esta sección está destinada a transferir información entre los elementos regeneradores. Es decir, estos regeneradores tendrán acceso a la información que viene en los bytes del ROH, la sección regeneradora contiene una estructura de 12 bytes. <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/comite/queesrui.htm>

⁸⁶ Esta sección provee las funciones necesarias para monitorear y transmitir datos de la red de gestión entre elementos de red. <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/comite/queesrui.htm>

- ❖ Presencia de elementos de enlace como:
 - TM: Multiplexadores de terminales
 - LTE: Equipo terminal de línea
 - ADM: Multiplexores para adición o supresión
 - DXC⁸⁷: Conmutadores Digitales
 - NarrobandDCS (64 Kbps)
 - Wideband DCS (2 Mbps)
 - Broadband DCS (34 Mbps)

Con la figura 29, se visualizan los esquemas de configuración de redes SDH, de mayor utilización y empleo. Con independencia del nodo de configuración, la capa física SDH dispone de cinco (5) interfaces, estas son:

- ❖ Distancia mínima (Interofficeconnections⁸⁸); longitud inferior a 2000 Mts. <Tipo I>
 - ❖ Distancia Básica (Short Haul Interoffice Connections⁸⁹ según longitud de onda <tipo S>
 - 15 Km $\lambda = 1300$ nm
 - 40 Km $\lambda = 1550$ nm
 - ❖ Distancia Normal (Long Haul interoffice connections⁹⁰)
 - Distancia Base: (Tipo L)
 - 40 Km / $\lambda = 1300$ nm
- Distancia ampliada:
- 80 Km / $\lambda = 1550$ nm
 - ❖ Distancia grande (Very Long Haul Interoffice Connections⁹¹)
 - Opera distancias duales: (Tipo V)
 - 60 Km / 300 nm
 - 120 Km / 1550 nm
 - ❖ Distancia extendida (Ultra-long Haul Interoffice Conections⁹²), opera con distancias de hasta 160 Km (Tipo U)

En la figura 30 se catalogan estas interfaces, que en el entorno grafico se identifican como ISLVU.

⁸⁷ conmutan vías digitales sin efectuar conversiones intermedias digital-analógico ni tampoco de multiplexar las vías temporales. books.google.com.co/books?isbn=848363001X

⁸⁸ Conexiones cortas entre oficinas books.google.com.co/books?isbn=848363001X

⁸⁹ Conexiones cortas entre oficinas books.google.com.co/books?isbn=848363001X

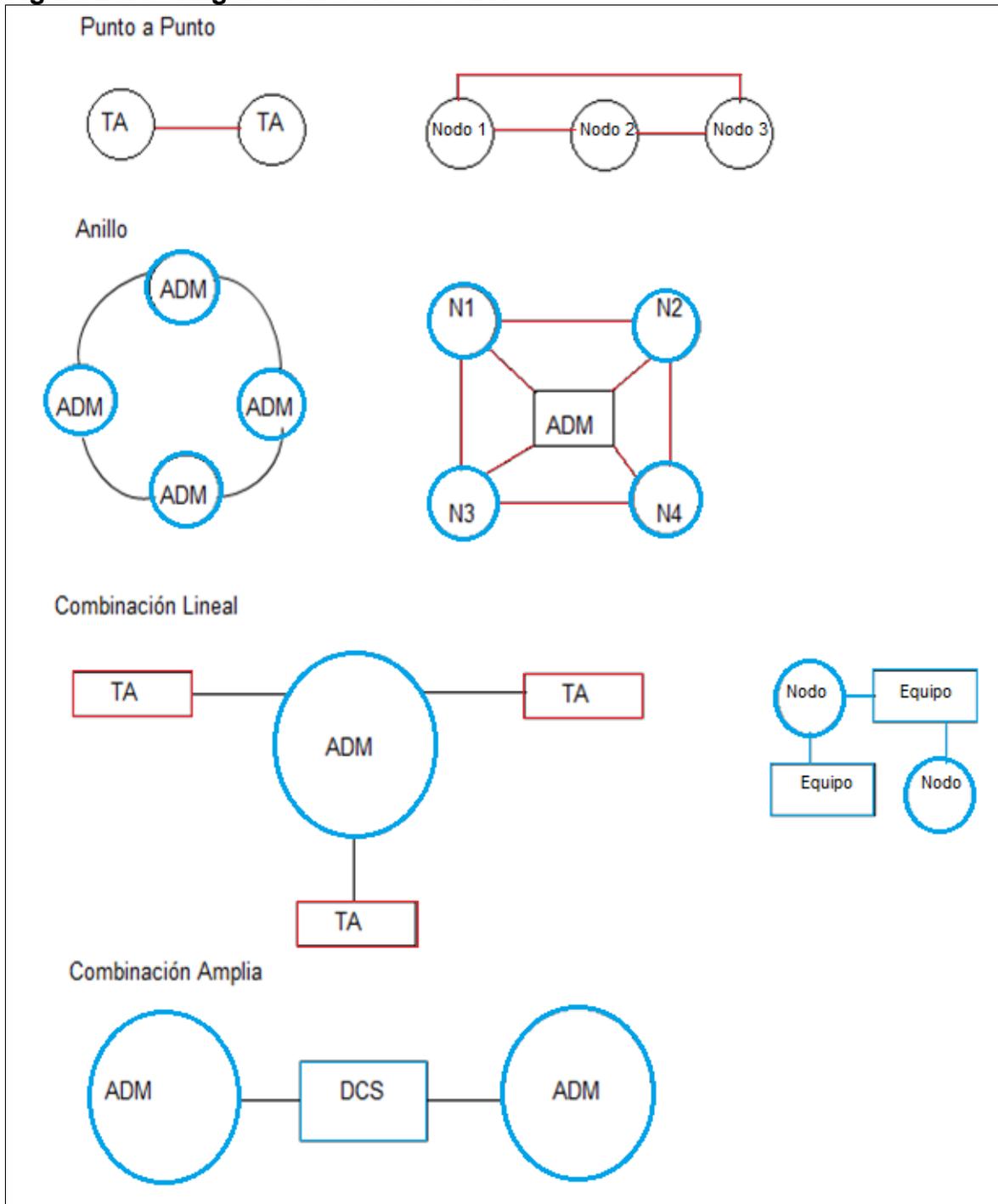
⁹⁰ conexiones Largas entre oficinas books.google.com.co/books?isbn=848363001X

⁹¹ conexiones Muy largas entre oficinas books.google.com.co/books?isbn=848363001X

⁹² Conexiones de Ultra-larga distancia entre oficinas books.google.com.co/books?isbn=848363001X

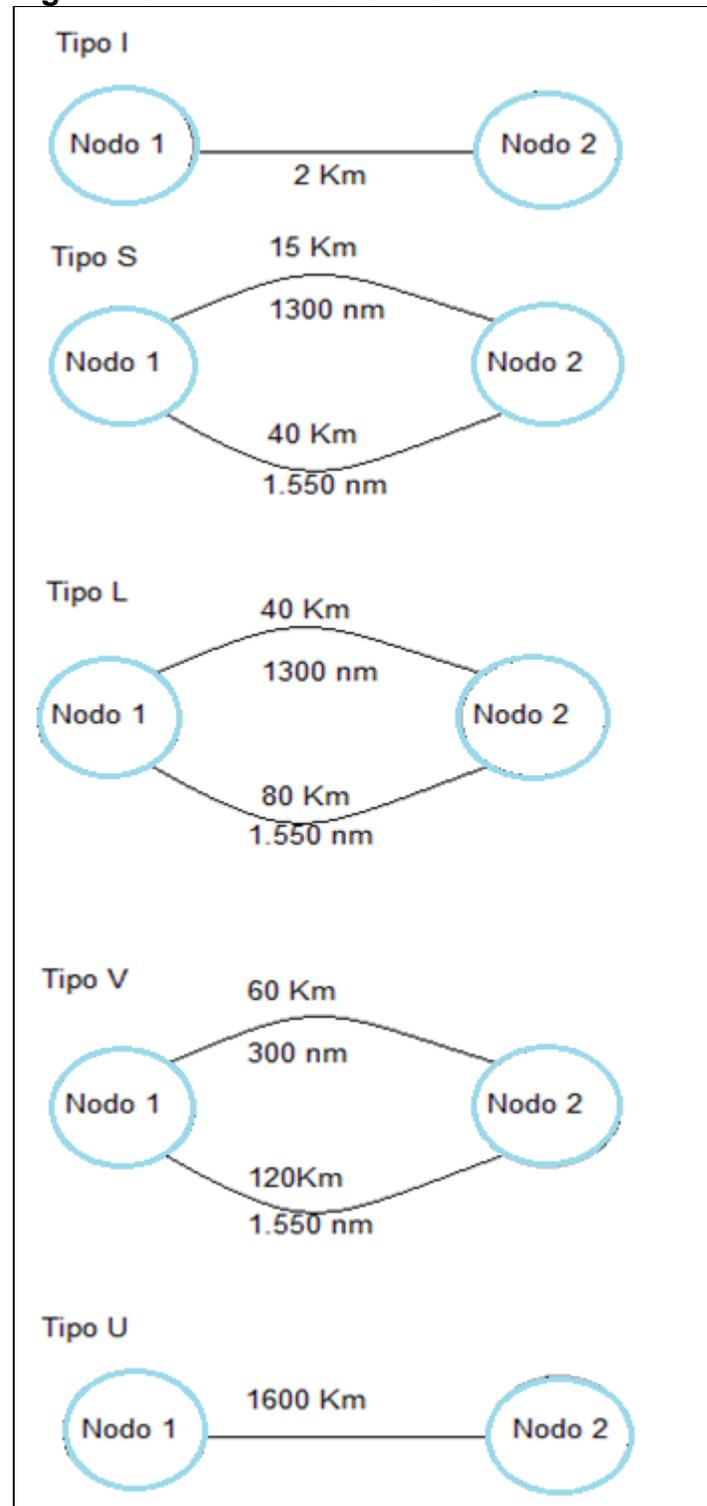
SDH, opera de forma básica con esquemas de transferencia ATM, IP y MPLS, cuyas características se describen y presentan a continuación:

Figura 29: Configuración de redes SDH



Fuente: Aporte realizadores

Figura 30: I Interfaces ISLVU



Fuente: aporte realizadores

3.2.1.1. NODO DE TRANSFERENCIA ASÍNCRONO (ATM)⁹³

SDH emplea el potencial ofrecido por ATM, al garantizar el envío de celdas de 53 Bytes, cinco de encabezado y 48 de carga, solo cuando hay información útil (Stallings, 2008), dada su característica de orientación a conexión.

ATM, opera sobre tres referentes o planos de control, estos son:

- ❖ Plano de señalización (Control)
- ❖ Plano de transferencia (Control)
- ❖ Plano de coordinación (Control)

Funcionalmente, ATM identifica 4 capas, con las que se define y estructura el uso transaccional guardando sincronismo operativo con las especificaciones OSI / ISO⁹⁴, estas se detallan aquí:

- ❖ Capa física: Identifica a la misma capa del OSI / ISO
- ❖ Capa ATM: establece conexiones y opera igual al nivel 2 de OSI / ISO
- ❖ Capa ALL: capa de adaptación a ATM, aísla y filtra protocolos, para adaptarlos al formato operacional de las celdas ATM.
- ❖ Capa superior: procesa paquetes del usuario y los entrega a la capa anterior (ALL).

La distribución física se presenta en la figura 31.

El formato de cabecera ATM, esta asociado con el tipo de interface que opere, la UNI⁹⁵ (User To Network Interface) y la NNI⁹⁶ (Network To Network Interface), pero en cada caso, identifica estos segmentos (Ortega, 2008):

- ❖ GFC⁹⁷: Control de flujo (4 Bytes)
- ❖ VPI⁹⁸: Identificador de trayectoria virtual (8 Bits para UNI y 12 en NNI)
- ❖ VCI⁹⁹: Identificador de circuito (16 Bits)
- ❖ PT¹⁰⁰: Tipo de celda o carga: 3 Bits

⁹³ Es una tecnología de telecomunicación desarrollada para hacer frente a la gran demanda de capacidad de transmisión para servicios y aplicaciones. <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/comite/queesrui.htm>

⁹⁴ Es el modelo de red descriptivo creado por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO). http://www.fisicanet.com.ar/fisica/ondas/ap11_luz.php

⁹⁵ Es un punto de demarcación entre la responsabilidad del prestador de servicios y la responsabilidad del suscriptor. http://www.fisicanet.com.ar/fisica/ondas/ap11_luz.php

⁹⁶ es una interfaz que especifica la señalización y funciones de gestión entre dos redes.

⁹⁷ se utiliza sólo a través de la UNI; información codificada en este campo no se realiza de extremo a extremo. http://www.fisicanet.com.ar/fisica/ondas/ap11_luz.php

⁹⁸ Son caminos porque los datos tienen un origen determinado y un destino determinado dentro de una red. <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/comite/queesrui.htm>

⁹⁹ Son caminos porque los datos tienen un origen determinado y un destino determinado dentro de una red. wikitel.info/wiki/Redes_de_comunicaciones

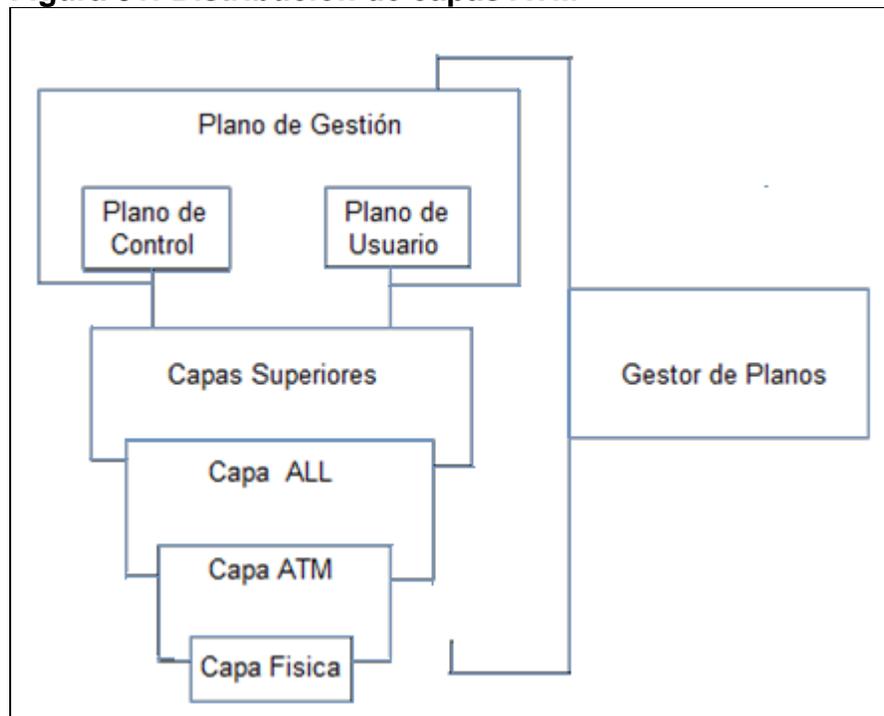
- ❖ CLP¹⁰¹: Prioridad de celda: 1 Bit
- ❖ HEC¹⁰²: Control de error: 8 Bits que se aplican al CRC de la cabecera.

Gráficamente, se observa su distribución en cada interface, observando la figura 32.

Por su importancia funcional, la capa ALL, distribuye su trabajo, apoyándose en dos segmentos o unidades de control, a saber:

- ❖ Unidad de convergencia: alinea información a múltiplos de Byte: 8, 16, 24, 32, 48.
- ❖ Unidad de segmentación y reusable: alinea la información y la empaqueta en términos de 48 Bytes y la reensambla al llegar al destino, se conoce como SAR.

Figura 31: Distribución de capas ATM



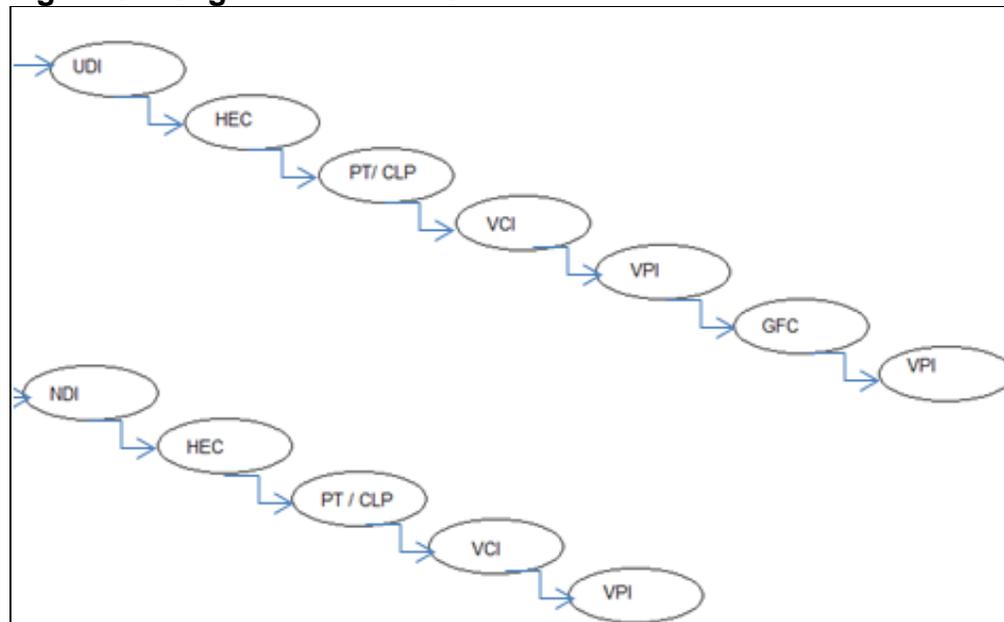
Fuente Aporte Realizadores.

¹⁰⁰ identifica el tipo de datos de la celda (de datos del usuario o de control). Uno identifica el tipo de carga en el campo de usuario, otro indica si hay congestión en la red y el último es el SDU. wikitel.info/wiki/Redes_de_comunicaciones

¹⁰¹ Opera independientemente en cada VPI/VCI. www.angelfire.com/wi/ociosonet/29.html

¹⁰² El HEC es generado y verificado en la subcapa TC de la capa física. www.angelfire.com/wi/ociosonet/29.html

Figura 32: Segmentación de Cabecera ATM



Fuente: Aporte Realizadores

ATM, garantiza el enlace integral entre los usuarios de red, gracias a dos protocolos:

- ❖ Redes privadas: PNNI¹⁰³ (Private Network To Network Interface)
- ❖ Redes Publicas: BCI¹⁰⁴(Broadband Carrier Interface)

Que se sincronizan operacionalmente con la secuencia: capa óptica (WDM), SDH, ATM, IP (Perros, 2002)

3.2.1.2. TECNOLOGÍA MPLS¹⁰⁵

El intercambio de etiquetas multiprotocolo (MultiprotocolLabelSwitching), permite asociar como capa intermedia el nivel de enlace con IP, utilizando la conmutación

¹⁰³ Especificación del Foro ATM que describe un protocolo de enrutamiento de circuito virtual ATM así como también el protocolo de señalización entre los switches ATM. www.angelfire.com/wi/ociosonet/29.html

¹⁰⁴ Especificación del Foro ATM que describe un protocolo de enrutamiento de circuito virtual ATM así como también el protocolo de señalización entre los switches ATM. www.monografias.com › Computacion › Redes

¹⁰⁵ es un estándar IP de conmutación de paquetes del IETF, que trata de proporcionar algunas de las características de las redes orientadas a conexión a las redes no orientadas a conexión. www.monografias.com › Computacion › Redes

de etiquetas (LSP)¹⁰⁶, con apoyo de routers LSR¹⁰⁷(LabelSwitchedRouter), para habilitar formalmente Qos en las tareas de:

- ❖ Reserva ancho de banda
- ❖ Planificación extremo a extremo
- ❖ Reencaminamiento LSP
- ❖ Soporte múltiple de VPN, soportada por diferentes LSP

3.2.1.3. ARQUITECTURA FC¹⁰⁸(FIBRE CHANNEL)

El advenimiento de las redes de área de almacenamiento (SAN), produjo la liberación del protocolo FC, que en modo full-speed, llega a los 100 Mbytes por segundo, es decir a los 1063 Giga Baudios, con los que se asegura la alta eficiencia de los sistemas de fibra (Khattar, 2000).

Estructuralmente, el protocolo FC, diferencia 5 células funcionales, en virtud a lo cual, se habla de tecnología FC, a saber:

- ❖ Enlace físico (FC-O)
 - Fibra óptica
 - Conectores
 - Parámetros de conectividad eléctrica y óptica
 - Sincronización de velocidad
- ❖ Transmisión (FC-I)
 - Codificación
 - Decodificación
 - Control de error
 - Generación de esquema 8B/10B
- ❖ Señalización (FC-2)
 - Normatividad de tramas
 - Secuencia y gestión de claves
 - Mecanismo de registro (Login)
 - Señalización de transporte
- ❖ Servicio (FC-3)
 - Control múltiples de puertos
 - Difusión multicast¹⁰⁹

¹⁰⁶ Intercambio de rutas por etiqueta, una ruta sobre una red MPLS. www.cert.uy/historico/.../Presentación%202%20-%20MPLS-VPN.p...

¹⁰⁷ Un tipo de encaminador situado en el medio de una red MPLS www.cert.uy/historico/.../Presentación%202%20-%20MPLS-VPN.p...

¹⁰⁸ Tecnología desarrollada para transmisión de datos a alta velocidad entre mainframes, superordenadores. www.angelfire.com/wi/ociosonet/29.html

- ❖ Mapeo selectivo (FC-4)
 - Enlace a capas superiores
 - Sincronización de protocolos

La interconexión de nodos en la red vía FC, se realiza de modo diferente, para estas tres topologías:

- ❖ PP (Point To Point): ancho de banda dedicado para los nodos.
- ❖ Anillo o Bucle: Ancho de Banda se comparte con independencia del enlace por HUB o uno a uno.
- ❖ Conmutada: conexión por conmutación de circuitos.

Sin importar la topología, FC, ofrece su servicio, catalogando seis clientes, estas son: (Khattar, 2000).

- ❖ Clase 1:
 - Canal dedicado entre host y estación.
 - Velocidad y fiabilidad se garantiza.

- ❖ Clase 2:
 - Enlace conmutado
 - Servicio sin conexión
 - Entrega de paquetes dispositivo – dispositivo
- ❖ Clase 3:
 - Difusión múltiple
 - Servicio sin conexión
 - Múltiple transmisión a múltiples usuarios
- ❖ Clase 4:
 - Conexión dedicada tipo INTERMIX
 - Mayor ancho de banda
 - Más de una conexión se habilita para acceder al sistema.
- ❖ Clase 5:
 - Multidifusión
 - Ancho de banda total del canal
 - Respuestas de puertos se almacena sobre tramas

Debe tenerse presente, que si bien esta arquitectura garantiza la total confiabilidad del enlace óptico, se recurre en ambientes locales al protocolo GB (GIGABITETHERNET), con su variante 10 GBase-Lx4¹¹⁰, que empleando la tecnología WDM¹¹¹ envía información sobre 4 canales diferentes, operando

¹⁰⁹es el envío de la información en una red a múltiples destinos simultáneamente. www.ventics.com/que-es-multicast/ - España

¹¹⁰ Usa multiplexión por división de longitud de onda para distancias entre 240 m y 300 m sobre fibra óptica multi-modo. También admite hasta 10 km sobre fibra mono-modo. www.ventics.com/que-es-multicast/ - España

¹¹¹la técnica consiste en acomodar múltiples señales de luz en un solo cable, utilizando diferentes frecuencias. www.glosarium.com/list/14/1,W,,xhtml

longitudes de onda de 1300 μm en fibra mono modo o multi modo, con distancias entre 2 y 300 metros (multi modo) y entre 2 a 10.000 metros (mono modo).

3.2.2. MODALIDAD DE ACCESO FTTX

Las redes de acceso FTTX (Fiber To The X), están conformadas por el terminal de línea óptica o nodo de acceso (OLT), la red de distribución de fibra (ODN: Optical Distributed Network¹¹²), y el componente óptico funcional de red (ONU).

Las redes de acceso FTTX, se catalogan según su espectro de alcance (Honcharenko, 1997) en:

- ❖ Redes FTTH¹¹³: (Fiber To The Home)
 - ONU está en el hogar
 - 25 MBits Por Segundo
 - Cada usuario posee su ONU
 - Múltiples servicios
 - Segmenta redes activas (APON) y pasivas (PON)

- ❖ Distribución:
 - Video: 450-1450 MHz
 - Datos: 0-100 MHz

- ❖ Enlace segmentado:
 - Internet
 - Red ATM – OLT
 - Red corporativa

- ❖ Amplificadores Ópticos:
 - Amplificador de ERBIO(EDFAS¹¹⁴)
 - Amplificador Laser (SLA¹¹⁵)

Su configuración, se observa en la figura 33

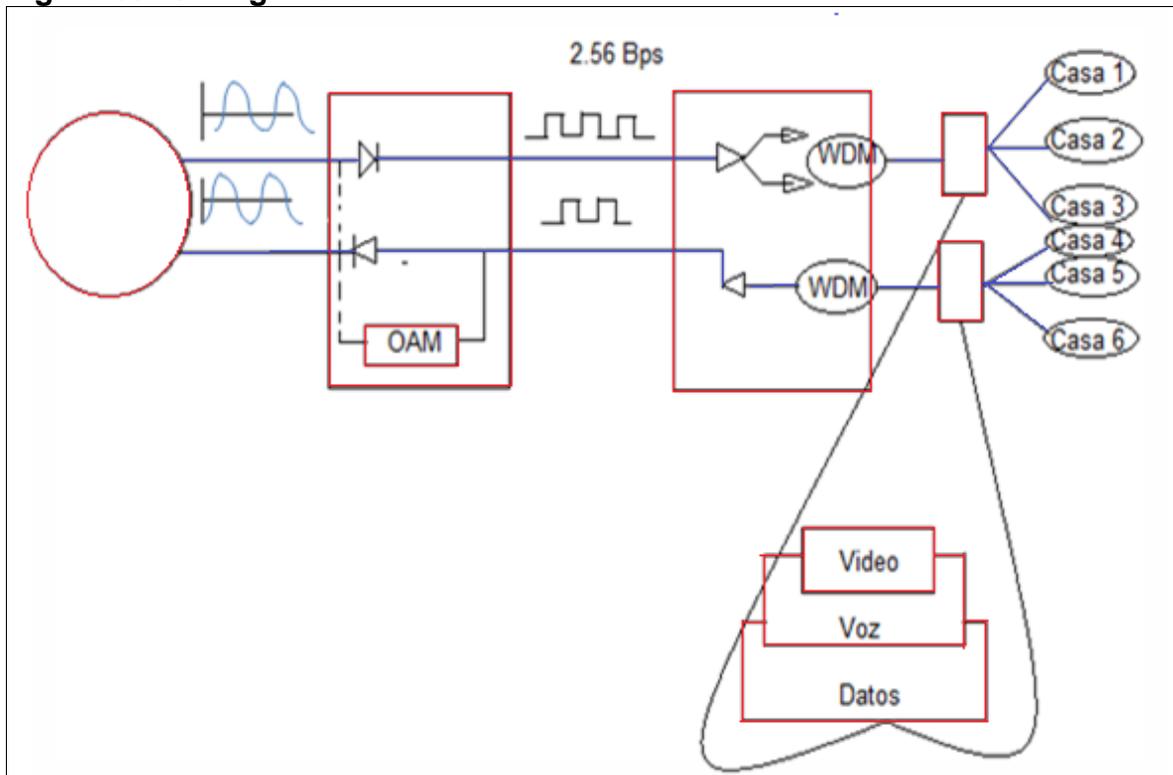
¹¹² Proporciona el medio de transmisión desde la OLT hasta la ONU. www.ventics.com/que-es-multicast/ - España

¹¹³ , se basa en la utilización de cables de fibra óptica y sistemas de distribución ópticos adaptados a esta tecnología para la distribución de servicios avanzados. www.glosarium.com/list/14/1,W,,xhtml

¹¹⁴ dispositivo que amplifica una señal óptica directamente. www15.knowledgres.com/00027739/AmplificadorOptico

¹¹⁵ En el se eliminan las reflectividades de los espejos de salida de la cavidad. nemesiis.tel.uva.es › Inicio › Tema 2 › 2.8. Amplificadores Ópticos

Figura 33: Configuración FTTH



Fuente: Ortega Beatriz. Optical Network

El mejoramiento tecnológico, ha permitido configurar redes FTTH-WDM¹¹⁶, que envía una señal por diversos canales que se multiplexan por longitud de onda, por el bucle o anillo fotónico que se configura (PPL), la FTTH-WDM, ofrece las llamadas ventajas de integridad, estas son:

- Confiabilidad
- Seguridad
- Eficiencia
- Separabilidad
- Diagnostico

❖ Redes FTTB¹¹⁷ (Fiber To The Building)

- Una sola fibra llega al edificio
- Solo un ONU controla

¹¹⁶ Se caracterizan por el envío desde la OLT a las ONU de una señal compuesta por diferentes canales ópticos multiplexados en longitud de onda. ciencia.urjc.es/bitstream/10115/5915/3/maseratti-web.pdf.txt

¹¹⁷ Capacidad de transporte de voz, datos y multimedia, mediante la conexión en fibra óptica de edificios de los segmentos PYMES, SOHO y HOGAR. ciencia.urjc.es/bitstream/10115/5915/3/maseratti-web.pdf.txt

- Admite cobre como enlace
- ❖ Redes FTTC¹¹⁸ (Fiber To The Curb)
 - Cobertura de área por manzana
 - ONU se comparte entre 16.032 usuarios
 - Enlace descendente 25 – 52 Mbps
 - Enlace ascendente 2.6 Mbps
 - Enlace comercial 12 Mbps
 - Admite cobertura coaxial
- ❖ Redes FTTCAB¹¹⁹ (Fiber to The Cabinet)
 - Abonados 64 – 128
 - ONUcompartido
 - Capacidad:
 - 25 Mbps Ascendente
 - 2 Mbps Descendente
 - 2 Mbps Negocios
- ❖ Redes FFTEX¹²⁰ (Fiber to Exchange)
 - Fibra llega al OLT
 - Cobre con longitud cercana a 5000 metros
 - Abonados 64 - 128
 - Capacidad:
 - 1.5 a 6 Mbps Descendente
 - 64 – 640 Kbps Ascendente
 - 0.5 Mbps Negocios

A pesar de las ventajas diferenciadoras de las redes de acceso FFTX, en la actualidad se presentan a las redes híbridas que utilizan la fibra hasta el nodo de acceso y radio hasta el usuario, conocidas como HFR (Hybrid Fiber Radio), que se catalogan según el servicio ofrecido en MMDS¹²¹(Multichannel Multipoint Distribution System), y LMDS¹²²(Local Multipoint Distribution Service), proporcionado.

¹¹⁸ En este nivel, el nodo de conexión se encuentra a una distancia inferior a los 300 metros del punto final (la conexión en nuestro domicilio). <http://bandaancha.eu/foros/tipos-cable-red-1651591>

¹¹⁹ La fibra termina en una cabina, en la calle, más lejos de los abonados que en FTTH y FTTB, típicamente en las inmediaciones del barrio, pero la cabina está más cerca del usuario, normalmente a menos de 300 metros. <http://bandaancha.eu/foros/tipos-cable-red-1651591>

¹²⁰ Es un término genérico para designar cualquier acceso de banda ancha sobre fibra óptica que sustituya total o parcialmente el cobre del bucle de acceso. <http://bandaancha.eu/foros/tipos-cable-red-1651591>

¹²¹ Sistema que permite, en entornos geográficos reducidos, transmitir varios canales de TV y soportar interactividad, lo que posibilita el ofrecimiento de servicios audiovisuales interactivos. www.cedav.net/.../mmds-multichannel-multipoint-distribution-system

¹²² es una tecnología de comunicaciones inalámbricas de banda ancha que se inscribe en el marco del multimedia y se basa en una concepción celular.

- ❖ Servicios bidireccionales de banda ancha
- ❖ Frecuencias superiores a 20 MHz
- ❖ Cobertura de antena inferior a 10 Km
- ❖ Recepción tipo DBS¹²³
- ❖ Ganancia espectral con Qpsk¹²⁴ de 600 MHz Se salta a 16 Bit por segundo
- ❖ Cobertura de transmisión de 3 a 6 Km
- ❖ Ancho de banda entre 75 MHz y 150 MHz

Operacionalmente las redes híbridas poseen tres segmentos, cuya ubicación se presenta en la figura 34:

- ❖ Segmento de usuario
 - Servidor
 - Internet
 - Información de usuario
- ❖ Segmento Lógico
 - Codificadores
 - Encapsuladores
 - Multiplexores
 - Antena recepción satelital
- ❖ Segmento distribuidor
 - Transmisor LMDS
 - Puntos de recepción (Usuarios)

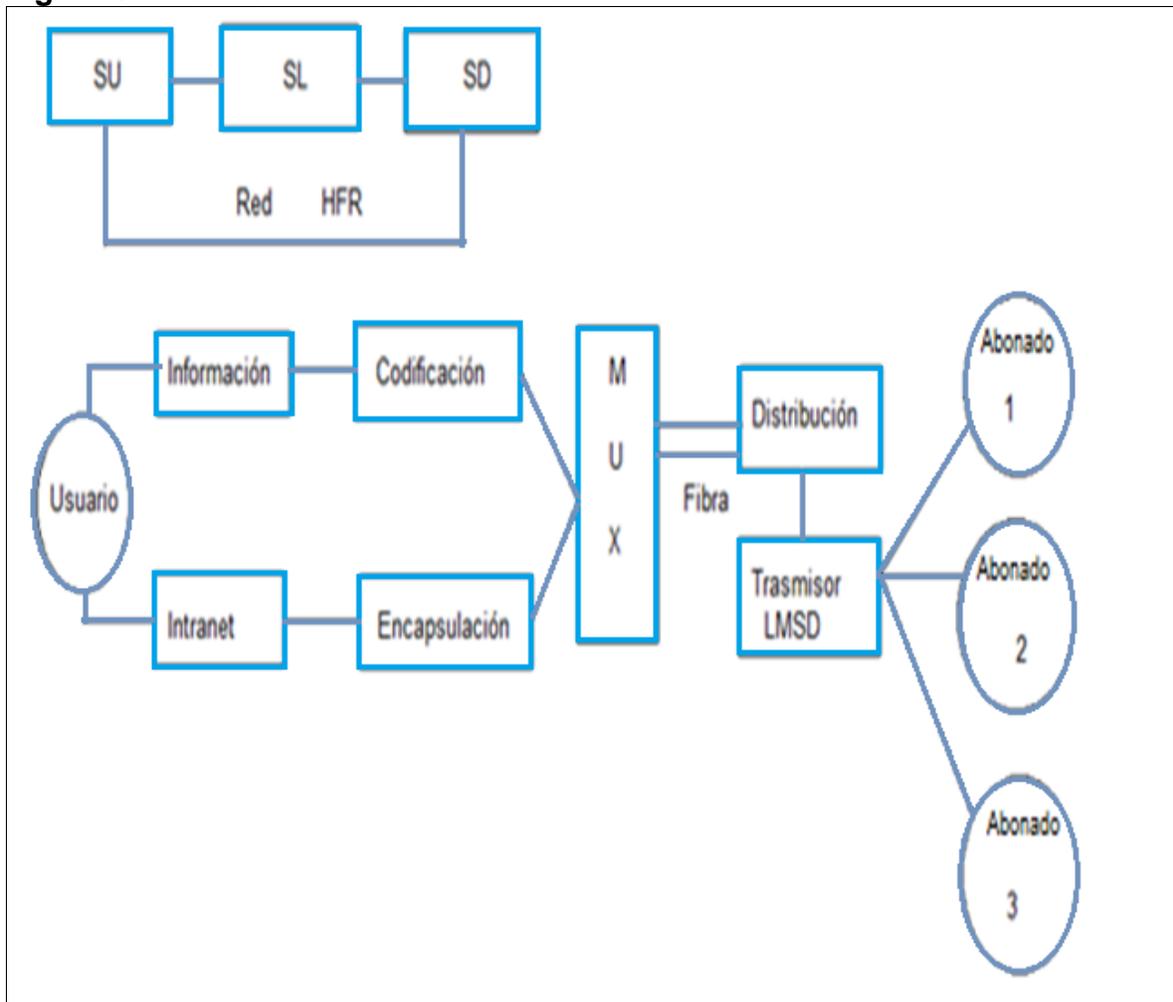
3.3. PARAMETRIZACIÓN OPERACIONAL

La parametrización operacional de redes ópticas agrupa los procesos relacionados con los esquemas de configuración, la tipología de enlaces, el encadenamiento y la asignación de longitud, modelo ASON, control, gestión y niveles o núcleos de protección, conceptos que se enunciaron en la parte introductoria de este capítulo y que seguidamente se trataran.

¹²³ aquel servicio que distribuye una señal de audio, vídeo o datos sobre una extensa zona predeterminada. www.upv.es/satelite/trabajos/Grupo8_99.00/DBSnow.html

¹²⁴ es un algoritmo de modulación de fase. www.cedav.net/.../mmds-multichannel-multipoint-distribution-system

Figura 34: Estructura Redes Híbridas HFR



Fuente: Aporte Realizadores

3.3.1. ESQUEMAS DE CONFIGURACIÓN

Es la entidad que cualifica el tráfico de servicio que operacionaliza el Hardware Configurado (Stern, 1999), pudiéndose interpretar como básicos los aquí citados: Esquema de OXO Simple, Esquema de OXO Derivado, y esquema WLXC¹²⁵, en cada caso se garantiza:

- ❖ Encaminamiento express o bypass para el tráfico circulante
- ❖ Configuración de puertos de soporte SDH/ATM/IP
- ❖ Aprovisionamiento de caminos ópticos
- ❖ Detección de fallas de red

¹²⁵ es un dispositivo usado por telecomunicaciones portadores para cambiar de alta velocidad señales ópticas en una fibra óptica de red, como una red de malla óptica.

- ❖ Monitoreo de señales y realización de Grooming¹²⁶
- ❖ Operatividad dual con núcleos electrónicos o núcleos ópticos, con diferencia únicamente en la capacidad de conmutación.
- ❖ Enlace de OLT con conmutadores especiales de múltiples puertos.
- ❖ Direccionamiento especializado de WR¹²⁷ (Wavelength Router) y WADM¹²⁸ (Wavelength ADD-Drop Multiplexer) y control integral de mezclado de ondas.

La figura 35 ilustra estos esquemas, los cuales señalan su estructura funcional de conectividad.

3.3.2 TIPOLOGIA DE ENLACES

El diseño y construcción de soluciones ópticas, se complica al tener que precisar el número de puertos que controlan los OLT, el número mínimo de router, la topología de caminos ópticos (LTD: Light pathTopologyDesign¹²⁹), el encaminamiento y asignación de longitudes de onda (RWA: Routing and WavelengthAssignment¹³⁰) y el grooming o agrupamiento del tráfico en la capa cliente, de esta forma, se interpretan o solucionan las preguntas: ¿puertos de ruteo necesarios?, ¿mínimo número de longitudes de onda?. Los enlaces formales para el diseño, se catalogan así: (Zhang, 2001).

¹²⁶ Es un nuevo tipo de problema relativo a la seguridad de los menores en Internet, consistente en acciones deliberadas por parte de un adulto de cara a establecer lazos de amistad con un niño o niña en Internet,

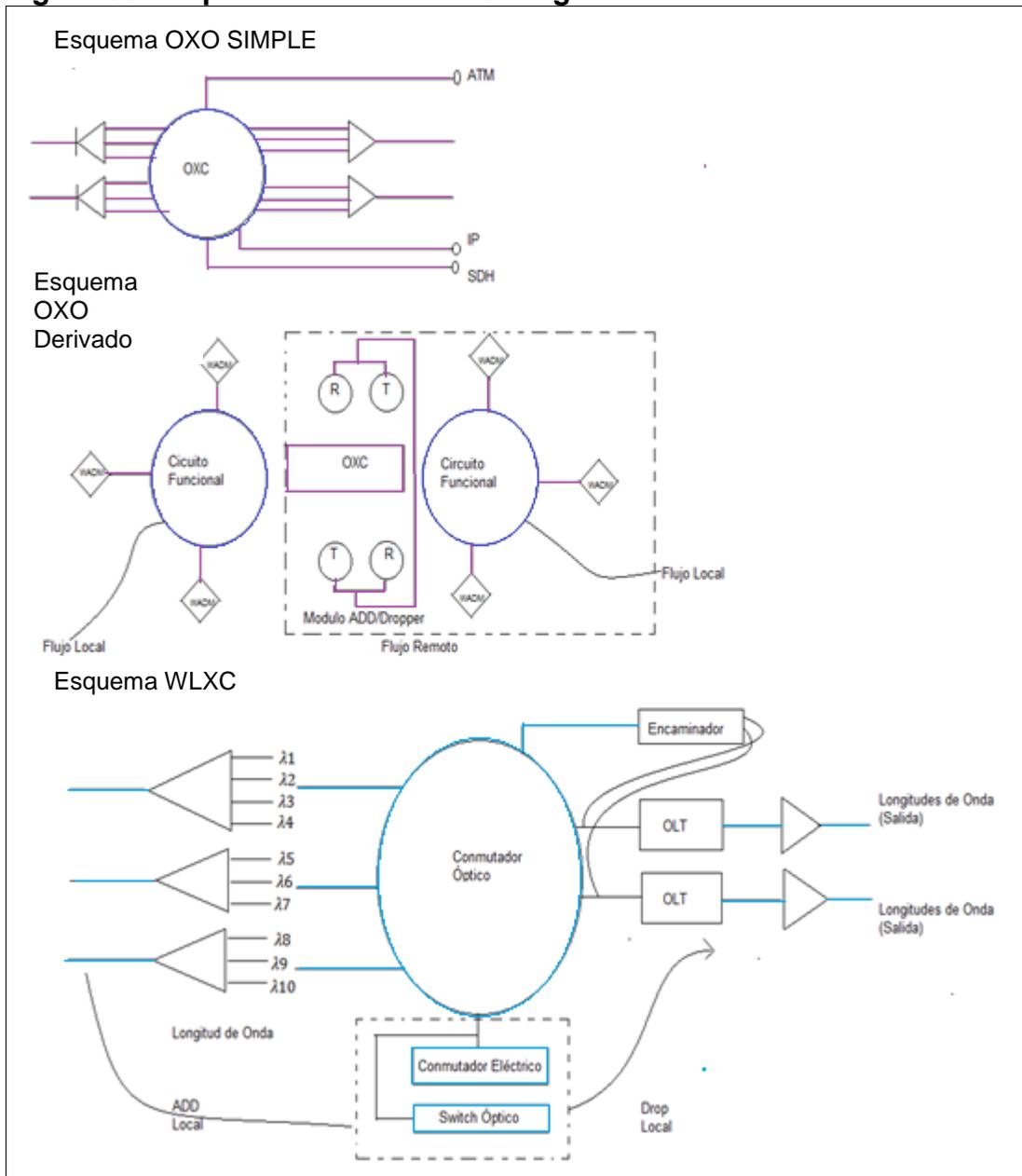
¹²⁷ es un problema de redes ópticas problema con el objetivo de maximizar el número de conexiones ópticas

¹²⁸ permite que la longitud de onda ópticamente omitir el nodo, eliminando así la asociada SONET.

¹²⁹ Topología de diseño para redes ópticas en presencia de mezcla de cuatro ondas. www.upv.es/satelite/trabajos/Grupo8_99.00/DBSnow.html

¹³⁰ Es un problema de redes ópticas problema con el objetivo de maximizar el número de conexiones ópticas. <http://bandaancha.eu/foros/tipos-cable-red-1651591>

Figura 35: Esquemas Básicos de Configuración



Fuente: Aporte Realizadores. Modificación Original Giles C.

- ❖ Enlace formal direccionado
Router segmentado para control de OLT (Ver figura 36)
- ❖ Enlace OADM
Malla interconectada con varias conexiones en paralelo entre los nodos que interactúan (Ver figura 36).
- ❖ Enlace de anillo WDM

Topología virtual punto a punto (PWDN¹³¹), para recepción y envío de longitudes de onda al router con solo un salto, valorando esta ecuaciones operacionales (ver figura 37).

- Carga de enlace o numero de caminos

$$l = \frac{N + 1 + \frac{1}{N-1}}{8} \cdot t$$

N= Numero de Nodos

T= tiempo de saltos

- Numero de Puertos por router

$$Q = 2W$$

W= Longitud de onda

$$Q = 2E[t]$$

E= Caminos Ópticos

$$Q = \frac{(N-1)E + \frac{1}{N-1}}{8} \text{ Caminos Vía IP}$$

Nodos Opticos

- Numero de Longitudes de Onda.

$$W = E \left[\frac{1}{N-1} \right] + \left[\frac{N^2}{8} + \frac{N}{4} \right]$$

- ❖ Enlace con distribución de HUB

Configurados se conectan a un HUB o concentrador de 1 o mas caminos ópticos, tal como en la figura 38.

3.3.3 ENCADENAMIENTO Y ASIGNACIÓN

En la redes convencionales, se aplica de forma normativa el algoritmo de Dijkstra¹³² o el de Bellman-Ford¹³³, pero en el entorno óptico, se precisa emplear tanto el RWA¹³⁴ dinámico como el estático, que operan respectivamente con los lightpaths¹³⁵ (Camino óptico) dinámico y con la demanda básica de trafico

¹³¹ Modulación de anchura de impulsos, es un sistema de modulación basado en variar la duración de los impulsos de un tren de los mismos de una frecuencia fija. www.xtec.cat/~vmessegu/personal/fperma/elements.htm

¹³² Es un algoritmo para la determinación del camino más corto dado un vértice origen al resto de vértices en un grafo con pesos en cada arista. www.xtec.cat/~vmessegu/personal/fperma/elements.htm

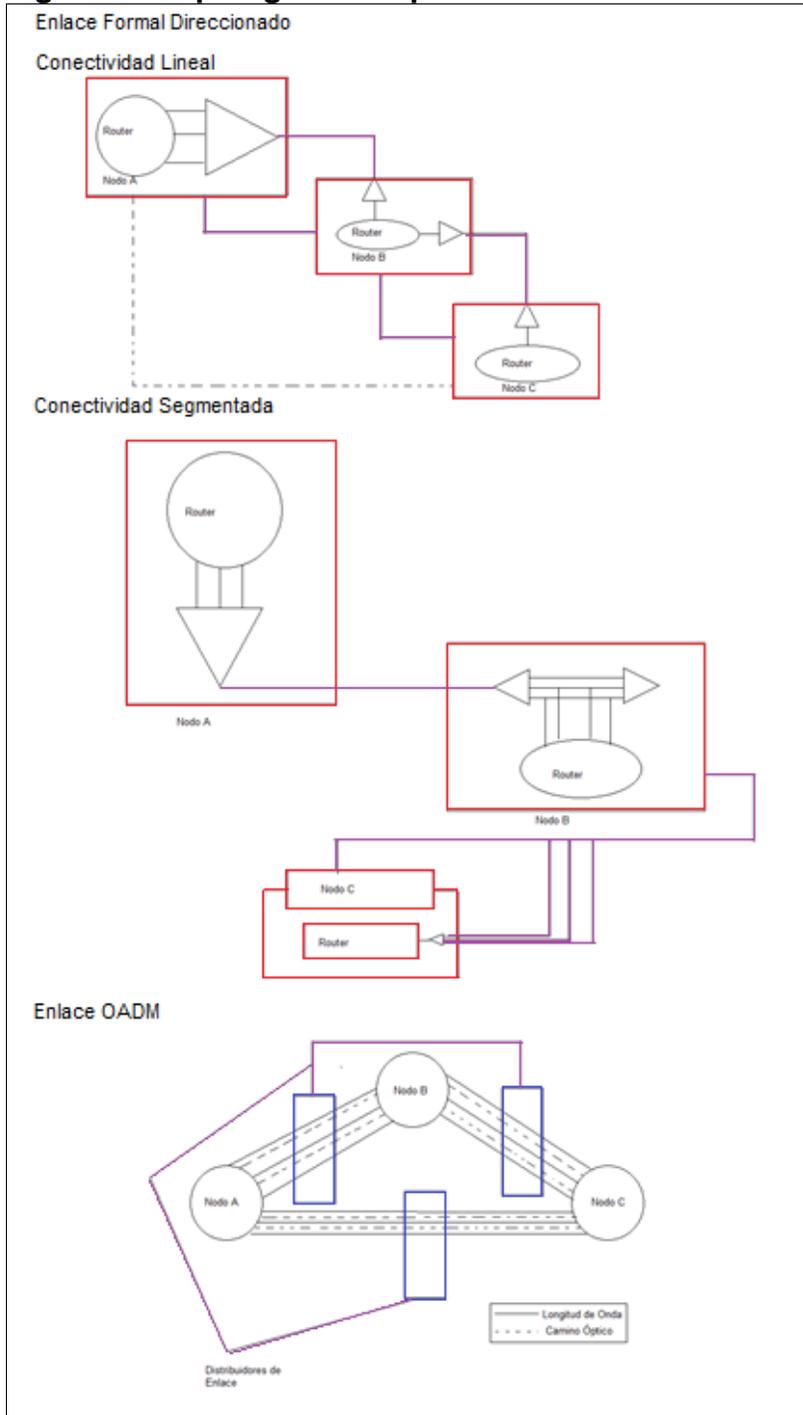
¹³³ genera el camino más corto en un Grafo dirigido ponderado (en el que el peso de alguna de las aristas puede ser negativo). www.xtec.cat/~vmessegu/personal/fperma/elements.htm

¹³⁴ El objetivo de este algoritmo es alcanzar el mejor funcionamiento posible dentro de los límites de las condiciones físicas. <http://www.purion.de/es/technology.php>

¹³⁵ Comunica dos nodos de la red a través de nodos intermedios. Utilizando un canal de longitud de onda por enlace óptico. <http://www.purion.de/es/technology.php>

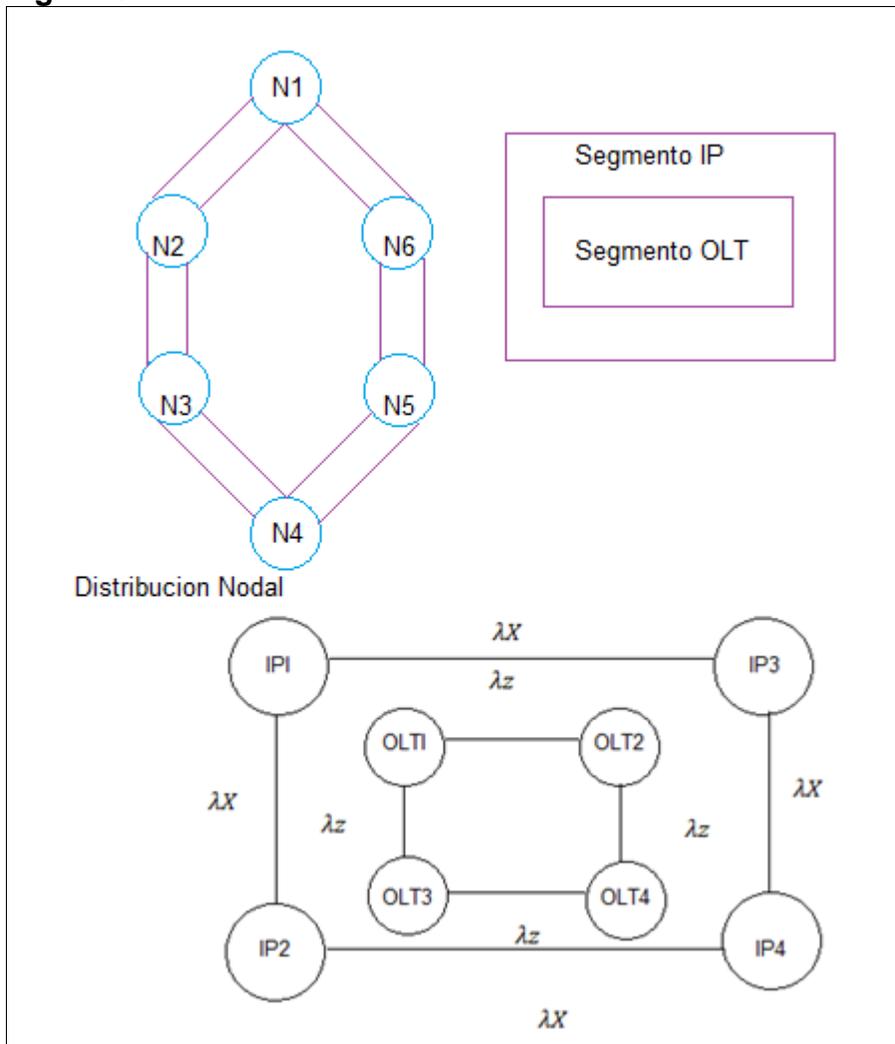
(Estático), que obviamente involucran el problema de asignación de longitudes de onda (Stern, 2003).

Figura 36: Tipología de esquemas de conexión



Fuente: Modificación Original Giles C. Aporte Realizadores

Figura 37: Enlace de anillo WDM

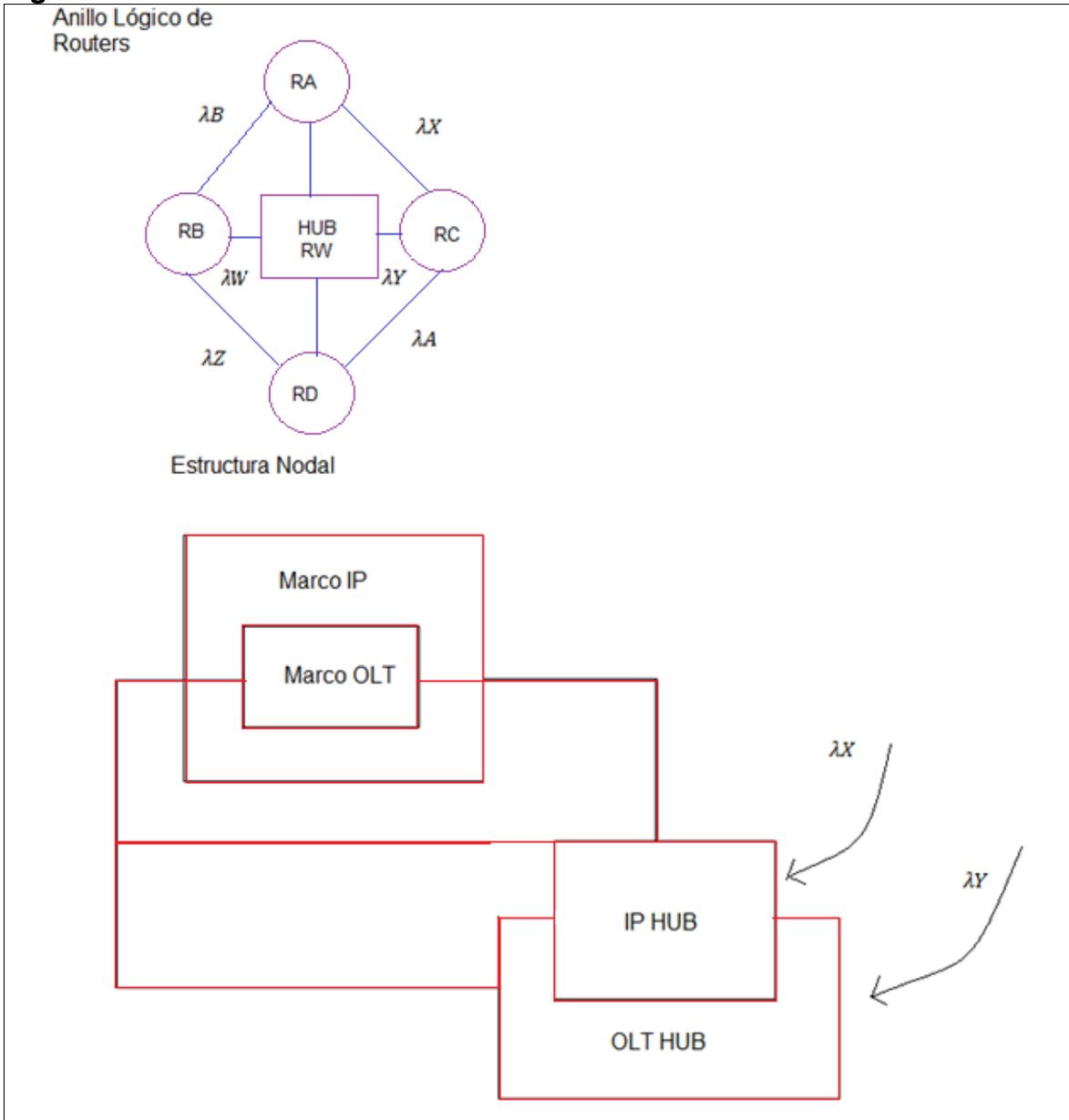


Fuente: Aporte Realizadores.

Según su naturaleza, los algoritmos ópticos se catalogan como se muestra (Capmany, 2010).

- ❖ Trayectoria corta (Shortes Path)
Ruta mínima, que optimiza el flujo
- ❖ Trayectoria mínima de peso (Weight shortest Path)
Obtención de camino óptico óptimo por catalogación y ordenación de trayectoria.
- ❖ Trayectoria multiple (K-shortest Path)
Se encuentran las rutas posibles de conexión y de acuerdo con prioridades, se selecciona la mejor.

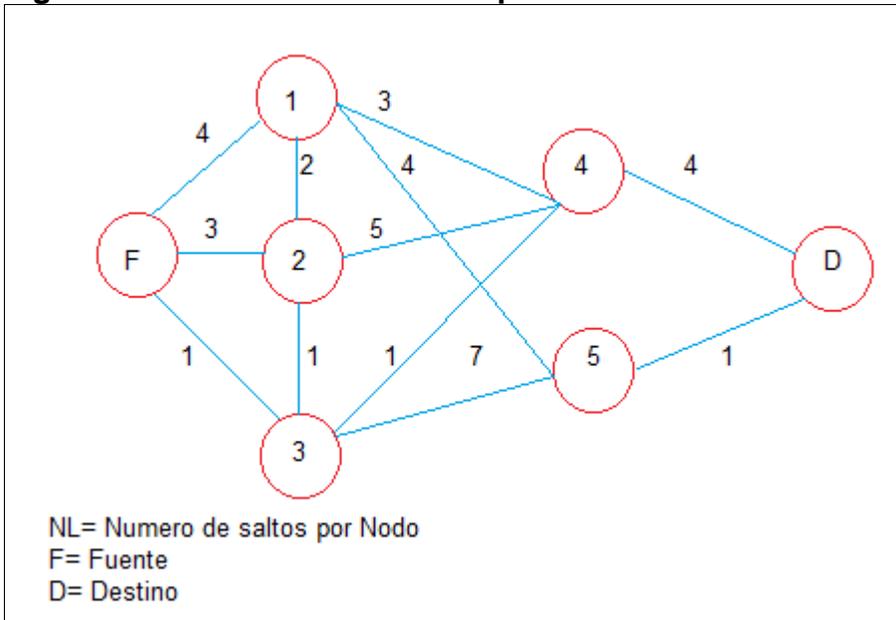
Figura 38: Enlace con Distribución DE HUB.



Fuente: Aporte Realizadores.

Debe aclararse que formalmente se estructuran estos algoritmos al ciclo operacional planteado por Dijkstra, para lo cual se esquematiza el problema que se presenta en la figura 39, acotando que procedimentalmente, el encaminamiento juega un papel substancial, bien sea fijo o adaptable que poseen diferente complejidad computacional $Q(NM)^2$ $Q(N)^2$ Respectivamente.

Figura 39: Problema de enlace Óptico a Resolver

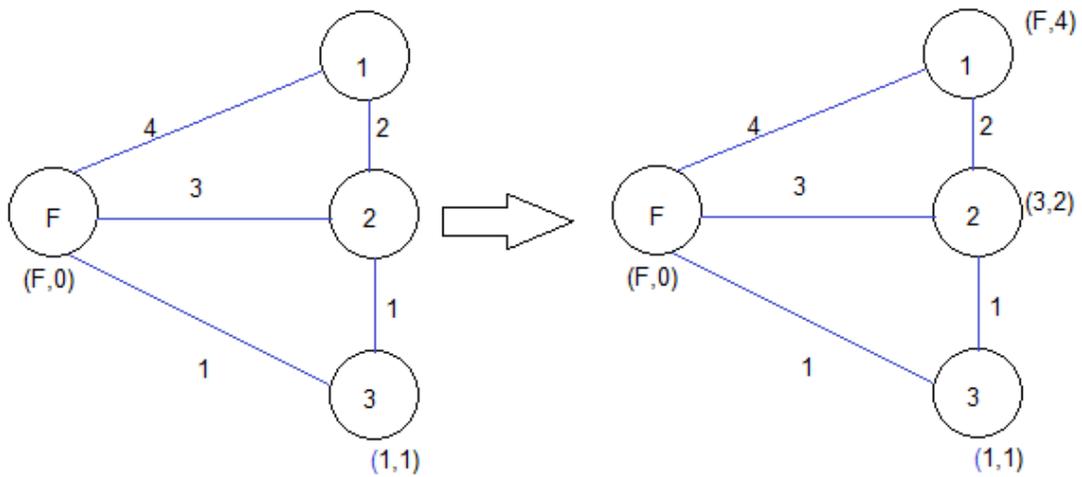


Fuente: Investigación de Operaciones

Este algoritmo que opera etiquetando los nodos a partir de:

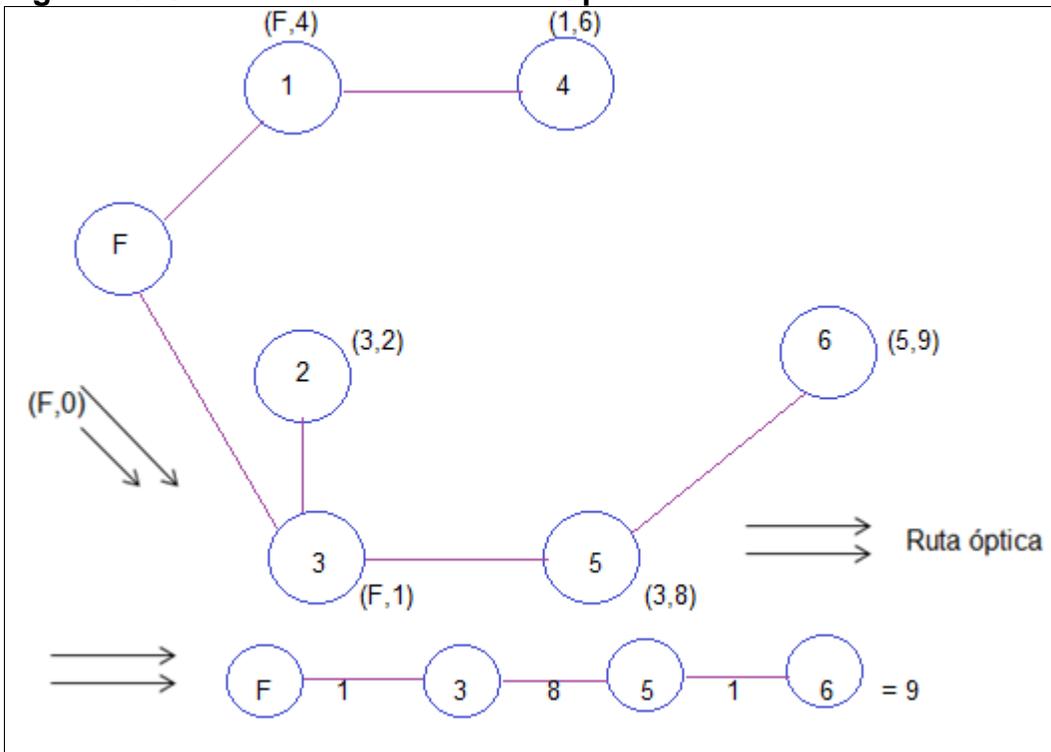
$$L_{sr} = \text{Min}(L_{sj} + C_{jk})$$

Procede segmentalmente como se muestra



Hasta marcar los nodos según saltos de flujo óptico y encontrar la solución que se observa en la figura 40.

Figura 40: Solución de conectividad Óptica



Fuente Aporte Realizadores

El proceso de asignación de longitud de onda esta fundamentado en el algoritmo de Greedy¹³⁶, pero también se recurre a los algoritmos genéticos fundamentados en el coloreado de grafos, el de Greedy opera de esta forma: (Mokhtar, 1998).

- ❖ Se ordenan las rutas y se asigna la longitud de onda
- ❖ Se operan según vecindado según tasa de tráfico.
- ❖ Se selecciona longitud de onda disponible por mayor numero de vecinos (LN) o la ruta de mayor cantidad de saltos (LF), o considerando la longitud menos usada.

Por ejemplo, si considera una red óptica como la mostrada en la figura 40, cuya especificación (Fuente, destino, saltos), se escribe como:

(F,1,4) (1,4,3)
 (F,2,3) (1,5,4)
 (F,3,1) (2,4,5)
 (1,5,4) (3,4,1)

¹³⁶Son algoritmos que toman decisiones de corto alcance, basadas en información inmediatamente disponible, sin importar consecuencias futuras. repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/735/1/T-ESPE-025270.pdf

(2,1,2) (3,5,7)
(3,2,1) (4,D,4)
(5,D,1)

Y se quiere comunicar el nodo F con el nodo D, el proceso de asignación se realiza como se detalla aquí:

❖ Fase 1

Se cataloga línea de enlace posible

L1=F-1-4-D
L2=F-1-5-D
L3=F-2-4-D
L4=F-3-5-D
L5=F-3-4-D
L6=F-3-2-4-D
L7=F-3-1-4-D
L8=F-3-2-1-5-D

❖ Fase 2

Se genera según espacio valores aleatorios que identifican la longitud de onda a saber:

- 528 – L1
- 917 – L2
- 632 – L3
- 114 – L4
- 225 – L5
- 183 – L6
- 982 – L7
- 316 – L8

Se selecciona el máximo (X2), que corresponde a L7 (982) y se toma el siguiente, que asocia a L2 (917), ahora se halla la distancia por trayecto.

$$L2= 4+4+1=9$$

$$L7=1+1+2+4+1=9$$

Como L2, posee λ (Longitud de onda mas corto) se envía la señal por esta ruta o trayectoria.

Cuando se opera con el primer ajuste (FirstFit), se generan las longitudes y se procede a enrutar, al utilizar (LF: Longest First), el router selecciona la ruta mas larga y así sucesivamente, asignando longitudes de onda disponibles, para luego operar la conversión de longitud correspondiente, pero también se puede recurrir

al método (Menos usada: less used) o el método (más usado: Most used), según valor de especificación de longitud de onda.

Adicionalmente a los algoritmos citados, para iniciar el proceso de asignación de longitudes de onda y por ende minimizar el número de fibras que se emplean, se usa frecuentemente, según visión formal del controlador de operaciones, los que se enuncian a continuación:

- ❖ Most Used (MU)
- ❖ Min-product¹³⁷
- ❖ Max-sum¹³⁸
- ❖ Leasted-loaded¹³⁹

Sin embargo, con pruebas realizadas en sistemas ópticos de gran complejidad si es necesario recurrir a dos potentes soluciones de diferencia es necesario recurrir a los potentes soluciones: (Karsan, 1998)

- ❖ RSV¹⁴⁰ (Reservation Wavelength)
 - Longitud de onda, se reserva para operar con tráfico multi salto.

- ❖ Reduce bloqueo de conexiones
 - Supervisa enlaces únicos para asignar prioridades.

- ❖ THR¹⁴¹ (Protecting thres Hold)
 - Controla longitudes de onda libres
 - Valida conexiones de saltos Simple y si está disponible una longitud de onda cuyo Valor sea superior al parámetro de control generado.

- ❖ RLC¹⁴² (Relative capacity Loss)

Valida significancia de pérdida por salto de conexión, por ejemplo si se tienen dos rutas para llegar al destino, con saltos dados por:

R1= 8-3-5-6

¹³⁷ Este intenta minimizar el número de fibras que se usan en un instante. books.google.com.co/books?isbn=848363001X

¹³⁸ Este considera todos los posibles caminos en la red e intenta maximizar las capacidades remanentes del camino después del establecimiento del camino óptico. books.google.com.co/books?isbn=848363001X

¹³⁹ Selecciona la longitud de onda que tenga la mayor capacidad residual en el enlace más cargado a lo largo de la ruta. books.google.com.co/books?isbn=848363001X

¹⁴⁰ Una longitud de onda dada en un enlace particular se reserva para tramas de tráfico multisalto. Este esquema reduce el bloqueo de estas conexiones, mientras incrementa el bloqueo para las que emplean solo un enlace de fibra. books.google.com.co/books?isbn=848363001X

¹⁴¹ Una conexión con un salto simple se le asigna una longitud de onda solo si el número de longitudes de onda desocupadas en el enlace es superior o inferior a umbral dado. books.google.com.co/books?isbn=848363001X

¹⁴² Se basa en la observación de que minimizando la pérdida total de capacidad algunas veces no lleva a la mejor elección de la longitud de onda. books.google.com.co/books?isbn=848363001X

R2=5-6-7-4-8

Cuyas distancias relativas son $R1=22$ y $R2=30$ Saltos, al validar la significación de pérdida se tiene:

$R1=5-2-1$ (obtenidos de restar 8-3, 3-5, 5-6, en Valor absoluto)

$R2=1-1-3-4$ (idéntico al anterior).

Entonces y sin importar que $R1 < R2$ ($22 < 30$), se tomó como enlace y se asigna $R2$ pues la pérdida de significancia para $R2=0$, $2,1 = 3$ y $R1=3,1=4$

- Bloquea las rutas no óptimas y selecciona longitudes no utilizadas.

3.3.4 MODELO ASON143 (AUTOMATICALLY SWITCHED OPTICAL NETWORKS)

En toda solución telemática de carácter óptico, el servicio de ancho de banda que proporciona el enlace fotónico, requiere la operación e integración de tres planos (Bernstein, 2008), a saber:

- ❖ plano de transporte
 - Hardware dispositivos fotónicos
 - Lógica de control de transmisión
 - patronato de distribución
- ❖ Plano de control
 - Mantenimiento y liberación de conexiones
 - Inteligencia basada en protocolos de encaminamiento, señalización y captura nodal y (descubrimiento de nodos vecinos).
- ❖ Plano de gestión
 - Interfaces
 - Protocolos de gestión
 - Distribución de servicios

El plano de gestión con el segmento interfaces relaciona tres tipos, a saber:

- ❖ UNI (User Network Interface)
Controla el enlace entre el cliente y la red óptica
- ❖ I-NNI (Interior Network To Network Interface)
Patronato de operación interactivo entre dos nodos de un mismo dominio.

¹⁴³ ASON surge para proporcionar soporte a los dispositivos ya existentes en redes instaladas. Por consiguiente, su concepción, corresponde al overlay dentro de los modelos de plano de control. books.google.com.co/books?isbn=848363001X

- ❖ E-NNI¹⁴⁴ (Exterior Network To Network Interface)
Interface que vigila la operación entre dos nodos de diferente dominio, técnicamente conocidos como Intra-carrier¹⁴⁵ y el inter-carrier.

El flujo fotónico y las demás actividades pertinentes al control, validación, recepción y envío de información, demanda de la división, por partición de las redes configuradas, pudiendo existir dos ejes de referencia (Black, 2006):

- ❖ Segmentación topológica
Se segmenta o divide la red en núcleos operacionales pequeños para permitir su escalabilidad.
- ❖ Segmentación de control
Se estructuran dominios para facilitar la función de supervisión de los múltiples enlaces.

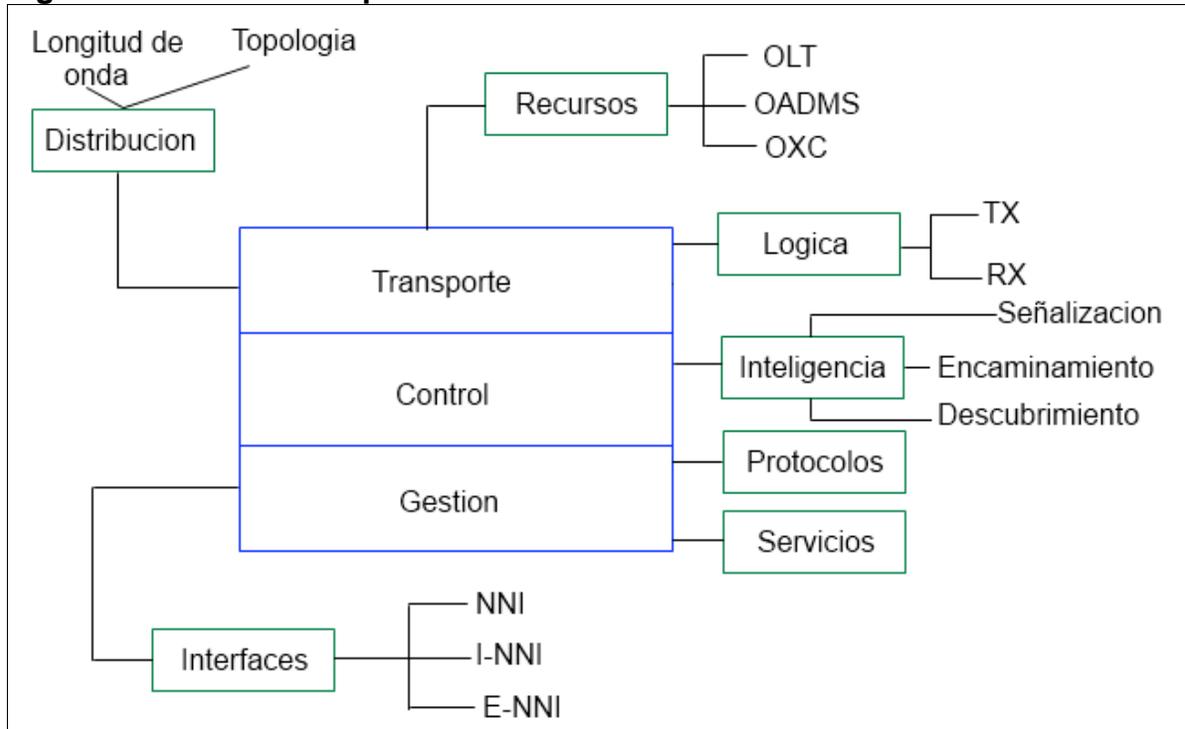
Con esta segmentación, el plano de control de toda la red óptica, cumplir estas funciones:

- ❖ Descubrimiento
Con apoyo de las interfaces UNI y NNI, sea válida automáticamente la conectividad nodal.
- ❖ ruteo o encaminamiento
 - Validar topología
 - Estructura disponibilidad de recursos para el
 - Calcular rutas de transferencia
- ❖ Señalización
 - Empleo de protocolos de comunicación UNI – NNI
 - Validar formalismo sintáctico-semántico de enlace.
- ❖ Gestión de recursos
Realista el llamado proceso contable de gestión y asignación de recursos del enlace fotónico, para lo cual implementa procesos de reserva paralela, reserva salto a salto, reserva forward (Hacia adelante) o reserva back (Hacia atrás)
En la figuras 41 y 42, se sumaría el contenido teórico alusivo a la distribución planar y a la funcionalidad del plano de control.

¹⁴⁴ Proporciona una forma estándar de la industria para conectar de forma rápida y sin problemas de redes empresariales con instalaciones de transporte Ethernet, asegurando rápido despliegue y visibilidad avanzada a través de conexiones de red virtualizados.
books.google.com.co/books?isbn=848363001X

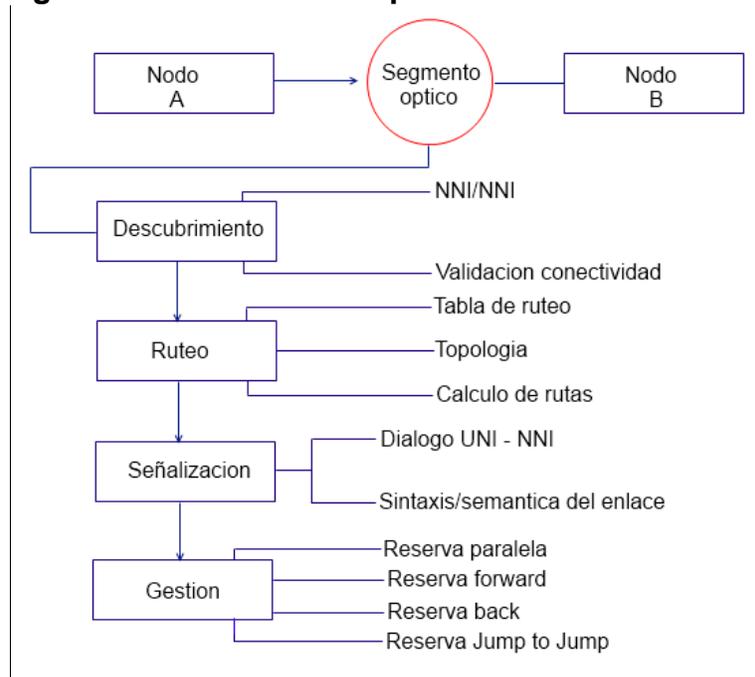
¹⁴⁵ transfiere el número que se pueda marcar dentro de las redes de servicios del proveedor de servicios del mismo. Típicamente, intra-portadoras puertos están asociados con el movimiento de un cliente desde un Digital (2G) a una próxima generación (2.5G) de red, o viceversa.
books.google.com.co/books?isbn=848363001X

Figura 41: Distribución planar fotonica



Fuente: Aporte realizadores

Figura 42: Funcionalidad plano de control



Fuente: Aporte realizadores

El control integral, se implementa en la red óptica con los siguientes escalizadores o modelos de operación (Bernstein, 2004), a saber:

❖ **MODELO DE OVERLAY**

- Independencia entre plano de control de la capa óptica y la capa del cliente
- Operación de interfaces tipo NNR
- Software de capa óptica es transparente y funciona en todas las capas: SDH, ATN, IP, VPN, ETHERNET.
- Manipulo interfaces heterogéneas propias de normas definitivas por la ITU¹⁴⁶, OIF¹⁴⁷ Y la IETP

❖ **MODELO OVERLAY PLUS(OVERLAY +)**

- Existe una entidad supervisora de dialogo (ver figura 43)
- Inteligencia en el controlador
- Define protocolos para control de congestión y fallas

❖ **MODELO PEER**

- Unificación de planos de control
- El software de control se ejecuta tanto en los routers como en los OXC y los OADN
- Homogeneidad operacional entre la capa óptica y la capa cliente
- El router controla todas las conversaciones
- Igualdad funcional UNI/NNI
-

❖ **MODELO ASON**

El patrón de intercambio automático para redes ópticas, es una arquitectura que especifica normativamente los parámetros de asociación entre la capa óptica y los protocolos que interaccionan sobre ella (Black, 2002)

El soporte de dominios catalogados por este modelo que opera con los ejes e-NNI/I-NNI (Exterior Network To Network Interface/ Interior Network To Network Interface P), para ejecutar los servicios que de demandan, por acción de la integración UDI E-NDI/I-NNI con el controlador óptico (OCC¹⁴⁸), se halla fortalecido por las recomendaciones que se listan, con las cuales se supervisa el funcionamiento de tres conexiones básicas a saber:

- Caminos ópticos permanentes: Libera la gestión del plano de control por su temporalidad continua
- Caminos ópticos switcheados por disparo: llamados soft-permanentes, pues por acción lógica de instante se encadena al canal óptico solicitado

¹⁴⁶International Telecommunication Union. www.itu.int/

¹⁴⁷Optical Internetworking Forum. www.oiforum.com/

¹⁴⁸OpticalConnection Controller. www.acronymfinder.com/Optical-Connection

- Caminos ópticos conmutados: el plano de control, los asignados dinámicamente

El conjunto normativo, se registro mediante estas dos especificaciones (Tomsu, 2002)

- ❖ Patrón o especificaciones de estructura
 - G. Ason: Documento 68080, define la AASON (Architecture For Automatic Switched Optical Network)
 - G. DCCM: Especifica las llamadas y conexiones distribuidas(DistrbutedCall And Connection Control)
 - G. RTG: Proporciona los normas de ruteo (Architecture And Requerimients For Routine In The Automatic Switched Optical Networks)
 - G. DISC: Define los procedimientos y técnicas requeridas para descubrir vecindades operacionales, durante el intercambio, se identifica por su sigla : GADT (Generalised Automated Discovery Techniques)

- ❖ Patronato de funcionalidad

Está conformado por los siguientes protocolos:

- 6.7713: estructura de registros de control, transmisión y de recepción, comprende:
 - 6.7713.1 o PNNI (Private Network To Network Interface)
 - 6.7713.2 Control de señalización generalizada (RSVP-TE)
 - 6.7713.3 Mejora al anterior al considerar esquemas CR-LDP
 - 6.7714: mediante la versión 6.7714.1 se ocupa de la configuración y valoración de atributos SONET/SDH

La operatividad ASON, se presenta en la figura 43 se requiere tener en cuenta, que la ingeniería de trafico que se ocupa del control de los FEC¹⁴⁹ (Forwarding Equivalence Class) y de definir los LSP¹⁵⁰ (Label Switched Path), se considera como acción directa no de ASON sino MPLS¹⁵¹ para redes de comunicación de paquetes y el GMPLS¹⁵², para atender la gestión de enlace, el descubrimiento de la topología y la señalización cuando se opera en redes de comunicación de circuitos (Lio, 2002)

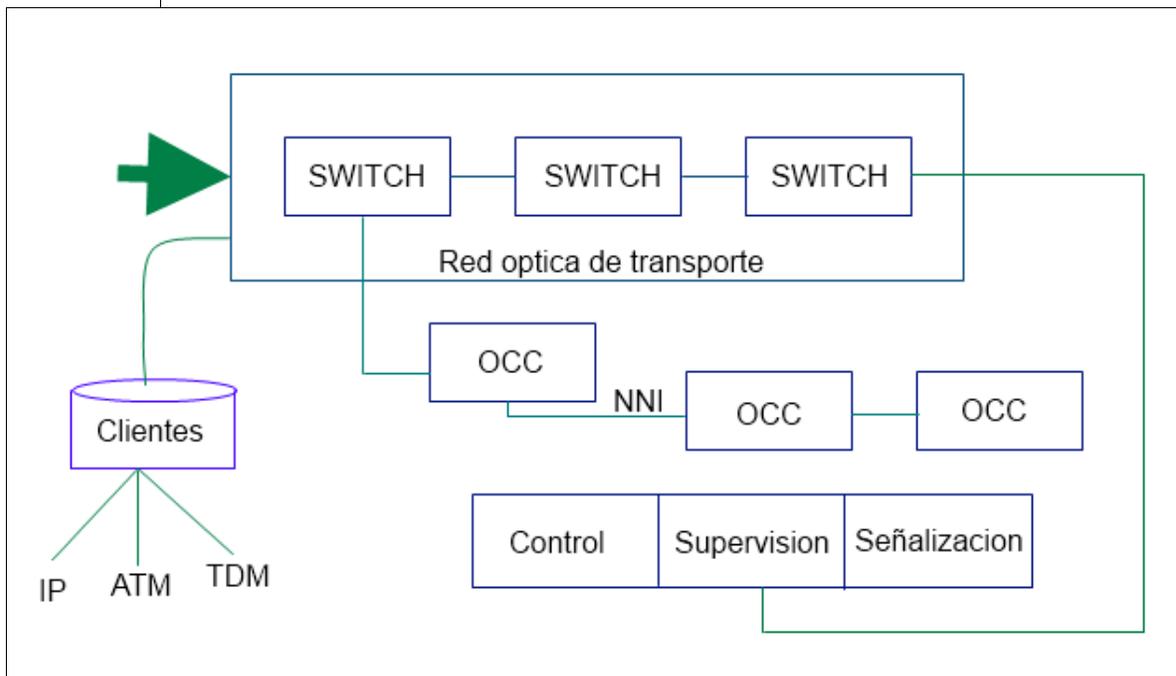
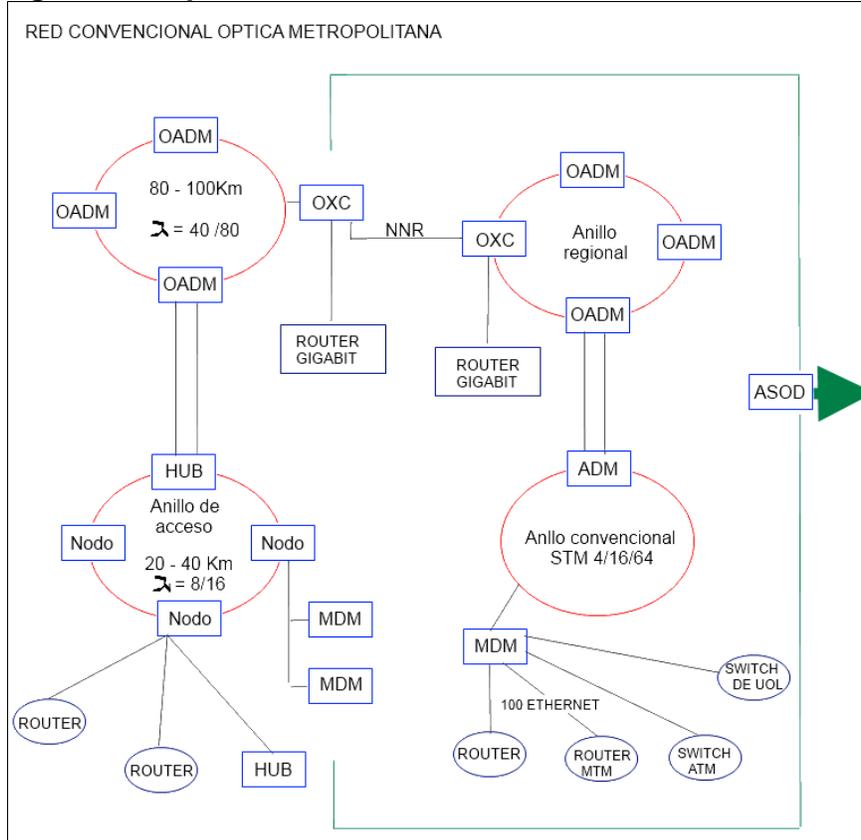
¹⁴⁹es un término usado en la conmutación de etiquetas multiprotocolo (MPLS) para describir un conjunto de paquetes repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/735/1/T-ESPE-025270.pdf

¹⁵⁰es un camino a través de una red MPLS, creado por un protocolo de señalización como LDP, RSVP-TE, BGP o CR-LDP. repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/735/1/T-ESPE-025270.pdf

¹⁵¹es un mecanismo en las redes de telecomunicaciones de alto rendimiento que transmite los datos de un nodo de red a la siguiente ruta de acceso basado en etiquetas cortas en lugar de las direcciones de red largas. repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/735/1/T-ESPE-025270.pdf

¹⁵²es un conjunto de protocolos de extensión MPLS para gestionar nuevas clases de interfaces y tecnologías de conmutación. www.xtec.cat/~vmessegu/personal/fperma/elements.htm

Figura 43: Operatividad ASON



Fuente: Aporte realizadores

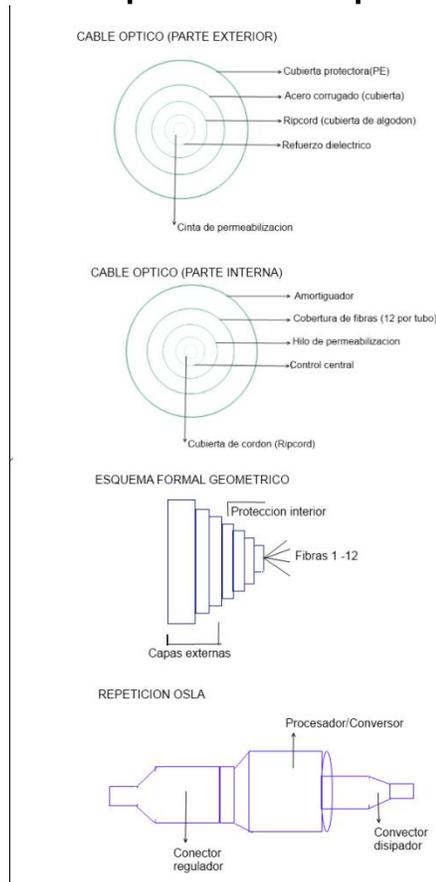
3.3.5. PROCESOS DE GESTIÓN

La normatividad de gestión a nivel de administración y seguridad en una red óptica metropolitana (MON), como la mostrada en la figura 43 anterior y la estructuración de servicios entre clientes o en redes interoceánicas que operan con cable submarino, amplificadores y unidades ratificadoras (Branchingunits), equipos terminales de line (LTE) y alimentadores de potencia (ver figura 44), se halla definida por la normativa ITU-TM3400 (Wilson, 2004), que define el conjunto formal de especificaciones alusivas a :

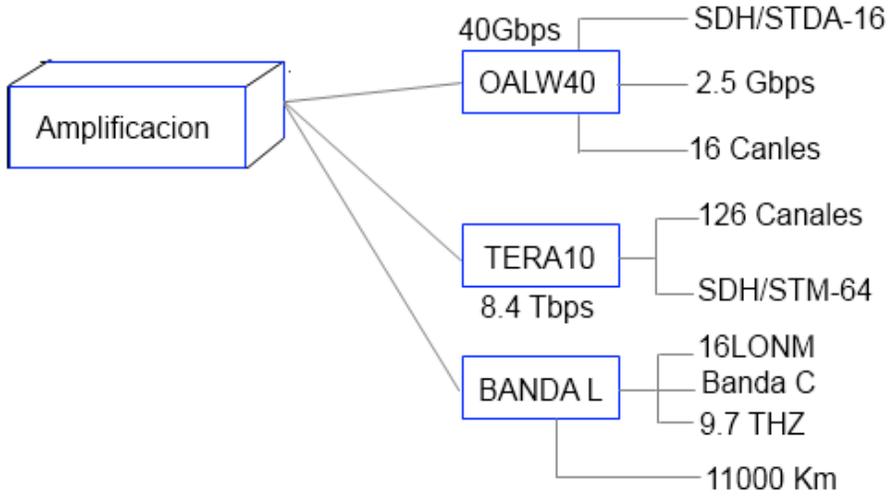
- ❖ Gestión de fallas
- ❖ Gestión de configuración
- ❖ Gestión de account o contabilidad
- ❖ Gestión de prestaciones
- ❖ Gestión de seguridad

Dentro de este nivel, es importante resaltar que la gestión de prestaciones y la gestión de fallas, son las responsables de implementar las discriminaciones que se muestran en la figura 45.

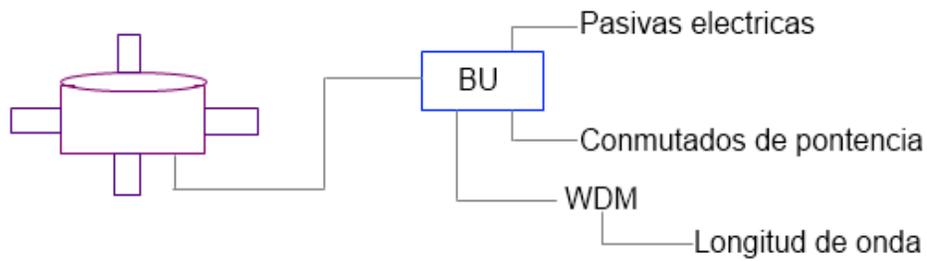
Figura 44: Componentes red óptica interoceánica



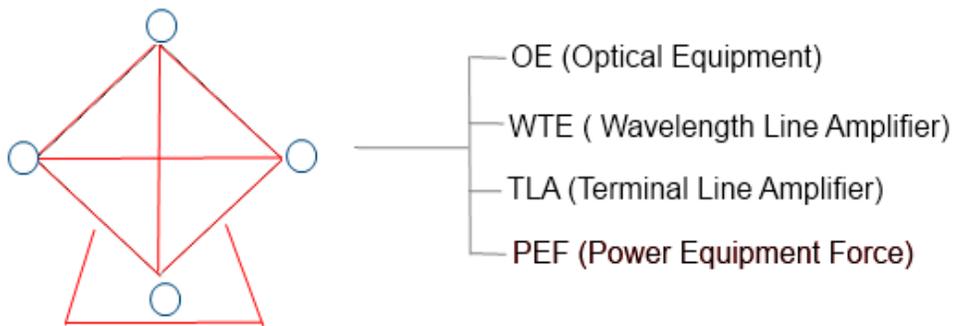
EQUIPO FOTONICO



BRAUCHING UNITS (UNIDADES DE RAMIFICACION)

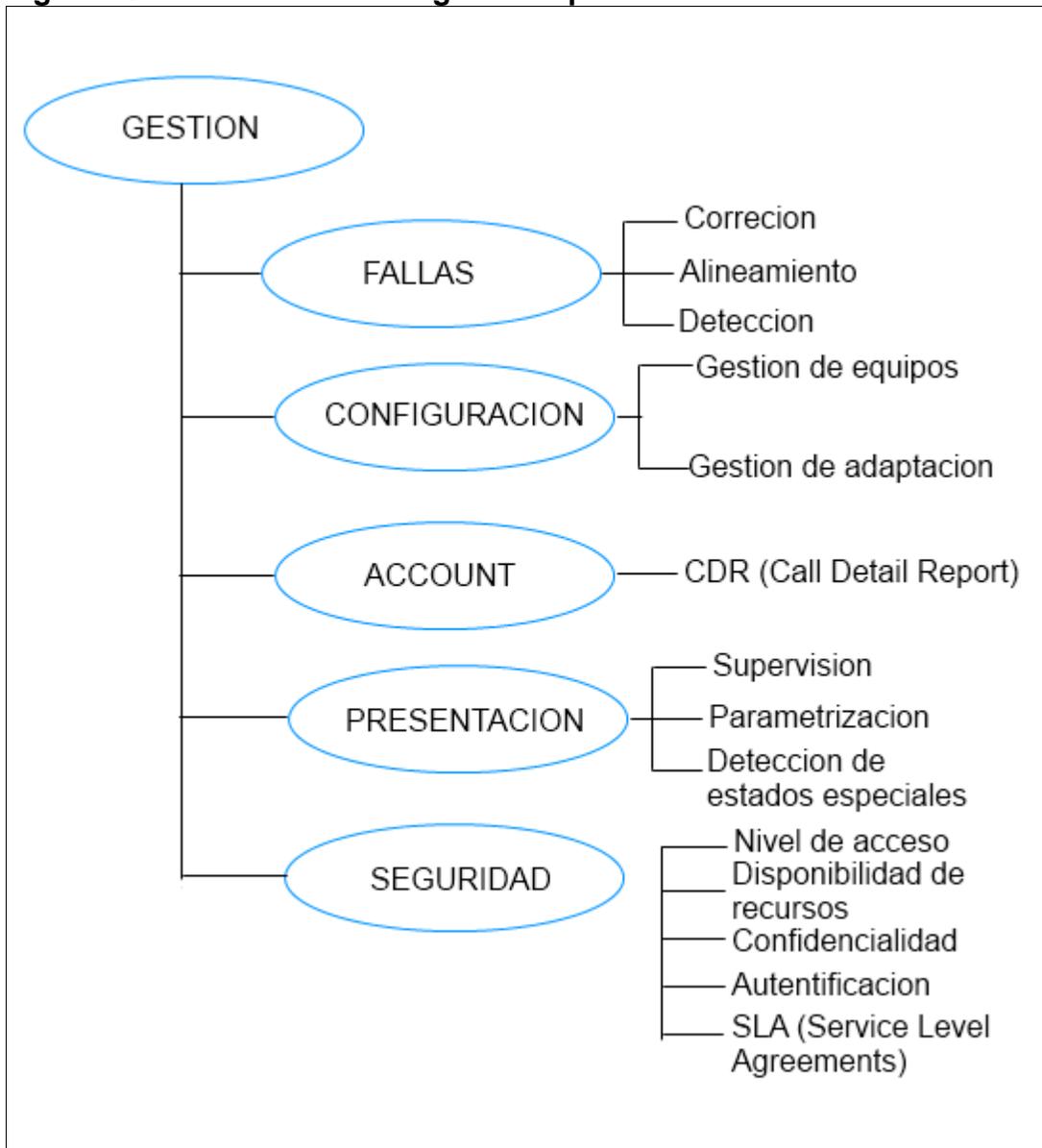


LTE (EQUIPO TERMINAL DE LINEA)



Fuente: Aporte realizadores

Figura 45: Discriminación de gestión óptico



Fuente: Aporte realizadores

Adicionalmente, por naturaleza del trabajo, resaltan las operaciones realizadas por la gestión de configuración, la que involucra:

- ❖ Gestión de equipamiento o infraestructura
 - Localización de amplificadores ópticos
 - Valoración de longitudes de onda activas
 - Dimensionamiento del máximo número de longitudes de onda
 - Localización y marcado de post amplificadores

- ❖ Gestión de configuración básico
 - Amplificación modular
 - Captura y suma de nuevas longitudes de onda
 - Mantenimiento de canales

- ❖ Gestión de recursos
 - Inventario de tarjetas por longitud de onda configurada
 - Backup mediante laser sintonizable

- ❖ Gestión de adaptación de señales
 - Conversión de señales
 - Alineación de overlay
 - Control de acuerdos entre clientes de red (SLA: Service Level Agreements)

3.3.6. SEGURIDAD EN REDES OPTICAS

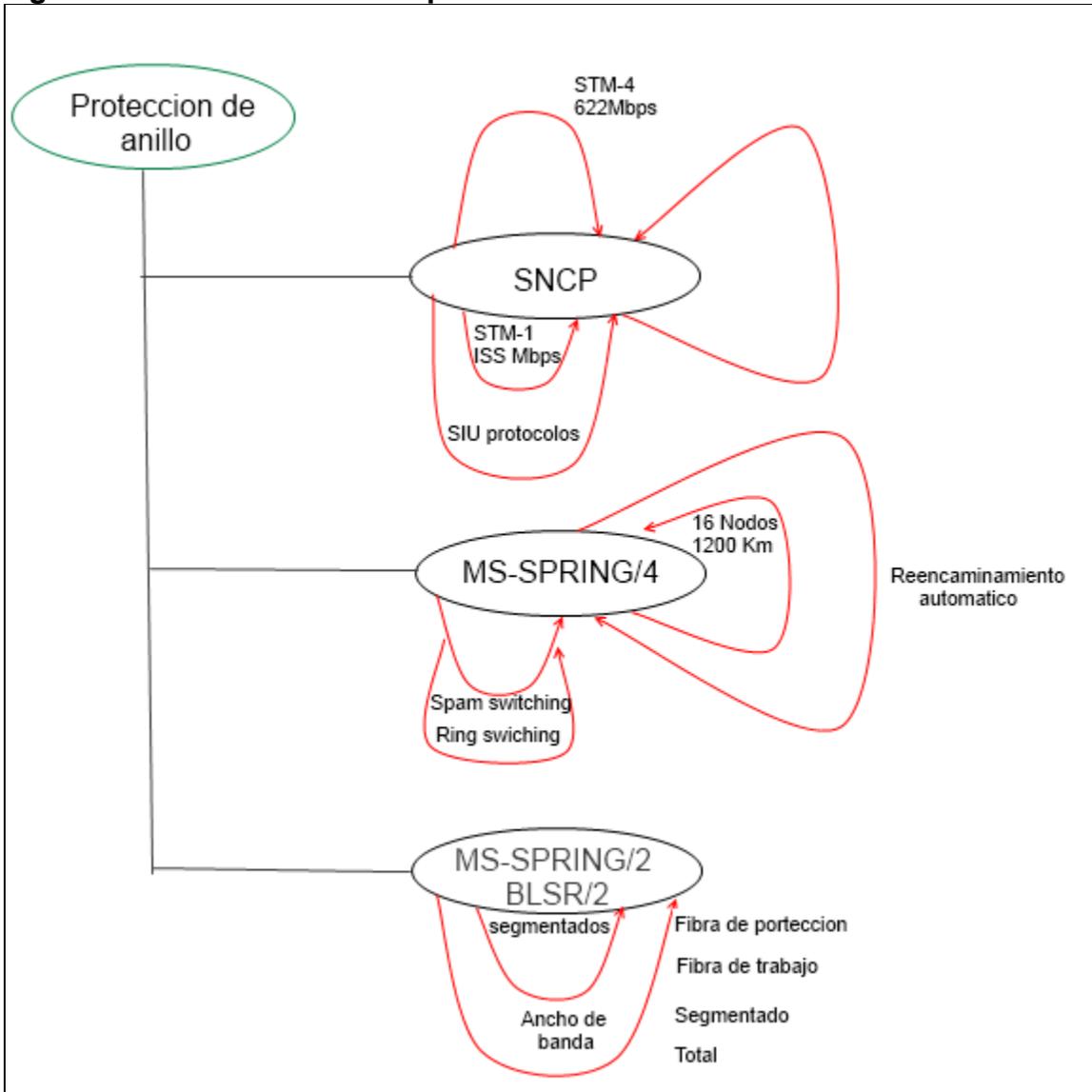
La seguridad óptica, está orientada a la definición de necesidades de protección para evitar los errores que se listan a continuación (Capmany, 2008)

- ❖ Errores por intervención humana
- ❖ Separación o corte de fibras instaladas
- ❖ Falla en conexiones de caminos de trabajo y caminos de protección
- ❖ Equivoca operación de conmutadores
 - PS (PathSwitching)
 - SS (SpamSwitching)
 - RS (Ring Switching)

Por las ventajas operacionales y funcionales, el sistema de protección más utilizado en el entorno óptico es esquema de anillo, cuyas variantes se ejemplifican con el diagrama sintáctico, presentado en la figura 46, con esquemas 1+1, 1:1 o 1:P, cuya acción se operacionaliza con la protección de la capa óptica (OCH: Optical Channel y OTS: Optical Transmission), con sus variantes OMS 1+1, ANS-DP RING, OMS-SPRING, OCH 1+1, OCH-SPRING Y OCHMESH, que por su comportamiento complejo, se explican directamente por entendidos en electrónica y telecomunicaciones (ingenieros teleinformáticas).

La eliminación de amenazas y ataques (Stallings, 2010) proceden según especificaciones RFC2828 Y X800, cuya sumarización registra lo pertinente a la seguridad IP, seguridad en la web y seguridad en el correo electrónico, para detectar lo pertinente a la suplantación, repetición, modificación e interrogación. Es importante anotar que con redes ópticas, operan también la lista siguiente de estándares a saber:

Figura 46: Protección con esquema de anillo



Fuente: Aporte realizadores

- ❖ X9.17: Gestión de claves de instituciones financieras
- ❖ RFC 1321: Algoritmo MDS
- ❖ RFC 1636: Arquitectura intranet
- ❖ RFC 2049: Criterios para MIME
- ❖ RFC 2246: Protocolo TLS
- ❖ RFC 2571: Gestión SNMP
- ❖ RFC 3174: Algoritmos Hash
- ❖ X.509: Clave publica y certificaciones
- ❖ X.800: Sistemas abiertos

- ❖ FIPS 46-3: Cifrado DES
- ❖ FIPS 180: Hash segura
- ❖ SP800-38: Cifrado de bloque

Referencia cuyo significancia se complementan con informes constantes, que emiten los siguientes grupos:

- ❖ SCI. CRYPT.RESEARCH
- ❖ SCI.CRYPT
- ❖ ALT.SECURITY
- ❖ COMP.SECURITY.FIREWALLS
- ❖ COMP.RISK
- ❖ COMP.VIRUS

Toso estos referentes, son de plena difusión y autorización de la agencias reguladoras: IAB, IET y la IESG (Pleegers, 2003), que regulan genéricamente los mecanismos de seguridad formulados por X.800, a saber:

- ❖ Cifrado
- ❖ Firma digital
- ❖ Control de acceso
- ❖ Integración de datos
- ❖ Intercambio de autenticación
- ❖ Relleno de trafico
- ❖ Control de enrutamiento
- ❖ Notarizacion
- ❖ Etiquetas
- ❖ Detección de acción
 - Intensos
 - Software dañino
 - Trampas
 - Bombas
 - Virus
 - Gusanos
 - Zombis
- ❖ Auditoria
 - Registro nativo
 - Registro especifico
- ❖ Operación de cortafuegos
 - Router de filtrado
 - De inspección de estado
 - De pasarela
 - Nivel de aplicación
 - Nivel de circuito
 - Nivel de bastión

Todos los sistemas ópticos terrestres y submarinos como: AFRICA ONE, GEMINI, SOUTHERN CROSS, APOLLO, ARCOS, ALPAL2, O SEAME-WEB, integran como plataforma formal el conjunto de especificaciones anteriores, que en nuestro medio se translucen con el sistema submarino que une a Colombia con Miami en sus tres variantes.

CONCLUSIONES

- ❖ La división de longitud de onda (wave length división multiplexing), permite potencializar la capacidad de transmisión en el orden de los Tera bits por segundo.
- ❖ Las redes ópticas, permiten construir soluciones de acceso cualificadas según entorno de operación, a saber: FTTH, FFTB, FFTC y FTTEX.
- ❖ El hardware especializado: OLT, OADM y OCX, definen funcionalmente la capa óptica permitiendo con sus características operacionales, eliminar la dispersión cromática y la no linealidad.
- ❖ Las interfaces de adaptación de señal en una red óptica, la presencia de los codificadores encapsuladores y multiplexores garantizan al sistema de gestión de red su óptimo efectividad y sustentado con calidad los esquemas de protección.
- ❖ Las redes de difracción de Bragg (Fibre Bragg Grating), son el prototipo de translación o modificación del núcleo en forma periódica, con difracción uniforme en los procesos de reflexión y transmisión.

BIBLIOGRAFIA

- ❖ Perros h. connection oriented networks: sonet/SDH/ATM/MPLS and optical networks editorial Wiley interscience 2006
- ❖ Black U. optical networks third generation transport systems. Editorial Prentice Hall 2002
- ❖ Capmany J y Fraile-Pelaez F. dispositivos de comunicación ópticos. Editorial Sintesis 1999
- ❖ Yoo S. wavelength conversion technologies for WDM networks applications. Journal technology vol. 14 2006
- ❖ Mokhtar A. and Azizoglu M. adaptive wavelength in all optical networks. IEEE/ACM transactions 1998.
- ❖ Karnsap E. effects or wavelength routing and selection algorithms on wavelength conversion gain. IEEE/ACM transaction 1993
- ❖ Stern T and Bala K. multiwavelength optical networks: A layered approach. Editorial prentice hall 2003
- ❖ Zhang H and Jue J. a review of routing and wavelength in all optical networks. IEEE/ATM transaction 2000
- ❖ Tamenbaum Andrew redes de computadores editorial prentice hall 2008
- ❖ Rodriguez Ulises redes de area local editorial Mc Graw Hill 2004
- ❖ Giancoli Douglas Physics: principles with applications editorial prentice hall 2010
- ❖ Blatt frank. Principles of physics editorial prentice hall
- ❖ Tomasi wayne. Electronic communications system editorial prentice hall 19998
- ❖ Resnick L and Hollyday W. principles of physics editorial prentice hall 2003
- ❖ Stallings William principios de comunicación de datos editorial prentice hall 2008
- ❖ Ortega Beatriz y capmany jose. Redes ópticas editorial limusa 2007
- ❖ Ramaswami R and Sivajaran K. optical network a practical perspective. Editorial Morgan Kauf Mann. San diego 2002
- ❖ Liu K. IP over WDM. Editorial John Wilwy and sons 2010
- ❖ Lin Nariot. Practical fiber guide optical system. IEEE/ACM transactions 2008
- ❖ Enderich S. Optical Network Control IEEE/ACM transaction 2010
- ❖ Tomsu P. and Schmutzer. Next generation optical network editorial Prentice Hall 2009