

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ.

INGENIERIA ELECTRÓNICA.

“Implementación de red MPLS-TP en la Zona de Transmisión Tuxtla, sector Chicoasén”

REPORTE DE RESIDENCIA PROFESIONAL.

Alumno: César Arsenio Morales González

No. De control: 10270511

Semestre: 9°

Asesor interno: Ing. Leonel Torres Miranda

Asesor externo: Ing. Enrique Alonso Méndez Jiménez.

Área donde se realizó la residencia: Dpto. Comunicaciones Zona de Transmisión Tuxtla, Sector Chicoasén.



ÍNDICE.

CAPÍTULO I

1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.4. Alcances y limitaciones.....	3

CAPÍTULO II

2.1. Caracterización del área donde se participó.....	4
2.1.1. Antecedentes de la empresa.....	4
2.1.2. Estructura organizacional.....	7
2.1.2.1. GRTSE.....	8
2.1.2.1.1. Zona de Transmisión Tuxtla.....	9
2.1.2.1.2. Organigrama.....	10
2.1.3. Misión, visión y valores.....	11
2.1.4. Descripción del área donde se realizó el proyecto.....	12
2.1.5. Problemas a resolver.....	14

CAPÍTULO III

3.1. Fundamento teórico.....	15
3.1.1. Fibra óptica.....	15
3.1.1.1. Principio básico de transmisión.....	16
3.1.1.2. Tipos de fibra óptica.....	18
3.1.1.2.1. Fibra multimodo de índice escalonado.....	19
3.1.1.2.2. Fibra multimodo de índice gradual.....	20
3.1.1.2.3. Fibra monomodo.....	21
3.1.1.3. Atenuación.....	22

3.1.1.3.1. Pérdidas por absorción del material.....	24
3.1.1.3.2. Pérdidas por curvatura.....	24
3.1.1.4. Dispersión.....	24
3.1.1.4.1. Dispersión cromática.....	25
3.1.1.4.2. Dispersión modal.....	26
3.1.1.5. Ventanas de transmisión.....	26
3.1.1.6. Cable ADSS.....	27
3.1.1.7. Cable OPGW.....	28
3.1.1.8. Empalmes.....	30
3.1.1.9. Conectores.....	31
3.1.1.9.1. Conectores de proximidad.....	32
3.1.1.9.2. Conectores de haz expandido.....	32
3.1.1.10. Fuentes y receptores ópticos.....	34
3.1.2. Redes ópticas.....	36
3.1.2.1. Jerarquías de red.....	36
3.1.2.1.1. Red troncal WAN.....	36
3.1.2.1.2. Red Metropolitana MAN.....	36
3.1.2.1.3. Red de Acceso AN.....	37
3.1.2.2. Topologías de red.....	37
3.1.2.2.1. Topologías lógicas.....	38
3.1.2.2.2. Topologías físicas.....	40
3.1.3. Sistemas de transmisión.....	42
3.1.3.1. Multiplexación.....	42
3.1.3.2. SONET/SDH.....	43
3.1.3.2.1. Señales.....	44
3.1.3.2.2. Dispositivos SONET.....	44
3.1.3.2.3. Tramas SONET.....	47
3.1.3.2.4. Multiplexación STS.....	47

3.1.3.2.5 Redes SONET.....	48
3.1.3.2.5.1. Redes lineales.....	48
3.1.3.2.5.2. Redes en anillo.....	50
3.1.3.2.5.3. Redes en malla.....	53
3.1.3.3. Sistemas DWDM.....	53
3.1.3.3.1. Redes DWDM.....	55
3.1.3.3.1.1. Topología punto a punto.....	55
3.1.3.3.1.2. Topología en anillo.....	56
3.1.3.3.1.3. Topología tipo malla.....	56
3.1.3.3.2. Dispositivos DWDM.....	57
3.1.3.4. MPLS-TP.....	59
3.1.3.4.1. Antecedentes MPLS.....	59
3.1.3.4.2. ¿Qué es MPLS-TP?.....	61
3.1.3.4.3. Elementos de una red MPLS-TP.....	62
3.1.3.4.4. MPLS OAM.....	63
3.1.3.4.5. Encabezado de etiquetas.....	64
3.1.3.5. Equipos.....	66
3.1.3.5.1. OTDR.....	66
3.1.3.5.2. Medidor de potencia óptica.....	67
3.1.3.5.3. Empalmadora por fusión.....	69
3.1.3.5.4. Comunicador de voz por fibra óptica.....	69
3.1.3.5.5. Nodo de acceso NPT-1020.....	70
3.1.3.5.6. Nodo de agregación NPT-1200.....	72

CAPÍTULO IV

4.1. Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.....	73
4.1.1. Cronograma de actividades.....	73
4.1.2. Aplicaciones y servicios utilizados en la ZTTux.....	74
4.1.2.1. Nodos SDH.....	74
4.1.2.2. Nodos DWDM.....	75
4.1.3. Topología y estructuración de red MPLS-TP.....	76
4.1.3.1. Topología física.....	76
4.1.3.2. Topología lógica.....	77
4.1.4. Instalación e implementación de equipamiento.....	78
4.1.4.1. Caseta Shelter.....	78
4.1.4.1.1. Muros y cubierta.....	78
4.1.4.1.2. Instalación eléctrica.....	79
4.1.4.1.3. Cableado de fuerza.....	80
4.1.4.1.4. Cableado de datos.....	80
4.1.4.1.5. Cableado de fibra.....	80
4.1.4.1.6. Sistema de tierras.....	81
4.1.4.1.7. Aire acondicionado.....	81
4.1.4.1.8. Piso conductivo.....	82
4.1.4.1.9. Planta diésel de emergencia.....	82
4.1.4.1.9.1. Panel de medición y control.....	83
4.1.4.1.10. Instalación de equipo NPT-1200.....	84
4.1.4.1.10.1. Instalación de gabinete.....	84
4.1.4.1.10.2. Breaker RAP-4B.....	86
4.1.4.1.10.3. Módulo NPT-1200.....	90
4.1.4.1.10.4. Sistema de fuerza 48VDC.....	90
4.1.4.2. Instalación de equipo NPT-1020.....	92
4.1.4.2.1. Instalación en gabinete.....	92

4.1.4.2.2. RAP-BG.....	93
4.1.5. Configuración en equipos administrables.....	96
4.1.5.1. Conexión de los equipos a la fibra óptica.....	96
4.1.5.2. Ajustando direcciones IP.....	99
4.1.5.3. Configuración OSPF.....	101
4.1.6. Pruebas y medición de los enlaces implementados.....	103

Capítulo V

5.1. Resultados.....	107
5.2. Conclusiones y recomendaciones.....	108
5.3. Anexos.....	109
5.4. Fuentes de información.....	114

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN.

La importancia de las Comunicaciones Ópticas dentro del ámbito de las Telecomunicaciones no cesa de crecer. Sus aplicaciones, inicialmente dedicadas a las grandes líneas que enlazan las centrales de conmutación, alcanzan en la actualidad hasta los mismos hogares. Este campo ha progresado de forma continua, y los sistemas de transmisión ópticos no sólo se destinan a aumentar la capacidad de transmisión, sino a ampliar la diversidad de los procesos en el dominio óptico.

La fibra óptica constituye el medio de transmisión básico para los sistemas de comunicaciones ópticas.

La fibra se está trasladando hoy en día hasta las residencias, extendiéndose su uso a un mayor abanico de aplicaciones.

Este papel destacado de las fibras se debe a sus muchas propiedades favorables, entre las que merecen destacarse:

- gran capacidad de transmisión (por la posibilidad de emplear pulsos cortos y bandas de frecuencias elevadas).
- reducida atenuación de la señal óptica.
- inmunidad frente a interferencias electromagnéticas.
- cables ópticos de pequeño diámetro, ligeros, flexibles y de vida media superior a los cables de conductores metálicos.
- bajo coste potencial, a causa de la abundancia del material básico empleado en su fabricación (óxido de silicio).

La Comisión Federal de Electricidad cuenta con una amplia red nacional de fibra óptica, que aprovecha la infraestructura de la red eléctrica de alta tensión, con aproximadamente 30 mil kilómetros, la cual brinda servicios internos tales como:

- Red de datos
- Telefonía
- Videoconferencia
- Teleprotecciones
- Canales digitales de comunicación

Del mismo modo, CFE renta su infraestructura a clientes externos, brindando canales de comunicación a particulares como Iusacell, el Consejo de la Judicatura Federal, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Megacable entre otros.

1.2. JUSTIFICACIÓN.

Telecomunicaciones de México (TELECOMM-Telégrafos) es un organismo público descentralizado que forma parte del sector de las Comunicaciones y Transportes que ofrece servicios para atender las necesidades de comunicación y financieros dirigidos a las personas, privadas y entidades gubernamentales a través del rendimiento de los procesos de calidad, tecnología de punta y precios razonables. Derivado de la reforma constitucional en telecomunicaciones del año 2013, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) cedió a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) los derechos de la concesión de la red pública de telecomunicaciones. Es por esto que CFE busca la implementación de una nueva red nacional de fibra óptica mediante protocolo de transporte MPLS-TP (Multi Protocol Label Switching- Transport Profile) para poder seguir ofreciendo servicios internos digitales para el correcto funcionamiento de la empresa.

El presente proyecto tiene como justificante modernizar las comunicaciones entre la subestación Manuel Moreno Torres (Chicoasén), y las oficinas de la Zona de Transmisión Tuxtla, a través de la implementación de la red MPLS-TP.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

Consolidar múltiples redes en una infraestructura común de CFE donde se cuente con las facilidades proporcionadas por la tecnología de paquetes de datos y un multiplexaje estadístico más eficiente.

1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Realizar diagramas y estructuración de la topología de red, de los puntos a comunicar, considerando la infraestructura con que se cuenta actualmente.
- Instalar e implementar el equipamiento e infraestructura necesaria en el nodo de red MMT (Manuel Moreno Torres) y enlazarlo con el equipo instalado en la oficina sede ubicada en Plan de Ayala.
- Realizar la configuración de equipos administrables MPLS-TP, en el sector Chicoasén.
- Realizar pruebas y medición de la calidad del enlace MMT-Oficinas de Transmisión Tuxtla (Hotel Tuxtla).

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES.

- **ALCANCES.**

Realizar la migración total de equipos TDM por tecnología MPLS-TP para lograr una plataforma donde puedan converger varios tipos de redes con flexibilidad IP (Internet Protocol) y que se tenga un manejo más eficiente de los canales de comunicación a través de multiplexaje estadístico. Del mismo modo tener una red de comunicación de datos que ofrezca redundancia lógica a los servicios internos de CFE, brindando confiabilidad del sistema.

- **LIMITACIONES.**

Los enlaces principales que se tienen para llevar información hacia los centros de control en la parte central del país (Puebla) ya sea hacia el COREFO (Coordinación Regional de Fibra Óptica) o al CENACE (Centro Nacional de Control de la Energía) carecen de redundancias físicas que permitan en caso de contingencias mantener la comunicación.

El recurso financiero también juega un papel importante debido a que la creación de rutas alternas físicas (Líneas de Transmisión) se ve condicionada al crecimiento y necesidades de la red eléctrica.

La actividad numero 5 planificada en el cronograma “Pruebas de laboratorio con los equipos de manera aislada y análisis del comportamiento de los servicios”, no se llevó a cabo en virtud de que los equipos que se instalaron, ya vienen aprobados por laboratorios certificados.

CAPÍTULO II.

2.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DONDE SE PARTICIPÓ.

2.1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.

La subestación Chicoasén forma parte de la Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres, se denomina así por el ingeniero del mismo nombre, quien realizó el proyecto hidroeléctrico en Chiapas. Esta presa se forma de las corrientes de agua de ríos que vienen de la cuenca del río Grijalva y afluentes como el Sabinal, Suchiapa, Santo Domingo y Hondo.

La Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres se encuentra a la salida del Cañón del Sumidero, 21 km al noreste de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Tiene como coordenadas $16^{\circ}56'30.00''\text{N}$ $93^{\circ}06'02.00''\text{O}$ tal como se aprecia en la ilustración 1.



ILUSTRACIÓN 1-UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PRESA CHICOASÉN

Es la tercer presa aguas arriba desde la desembocadura del río Grijalva y forma parte del Complejo Hidroeléctrico Grijalva, que consta de tres presas más sobre el segundo río con mayor caudal de México, estas son:

- **Central Hidroeléctrica Malpaso:** También denominada Netzahualcóyotl, realizada entre 1958 y 1966. Fue puesta en marcha en enero de 1969 con una capacidad de 1020 MW.
- **Central Hidroeléctrica Belisario Domínguez:** También conocida como La Angostura, inició su construcción en 1969 y entró en operación en julio de 1976, con capacidad para generar 900 MW.
- **Central Hidroeléctrica Ángel Albino Corzo:** Conocida también como Peñitas, entró en operaciones en septiembre de 1987, con una capacidad de 420 MW.

A continuación en la Ilustración 2 se presenta el orden del Complejo Hidroeléctrico Grijalva.

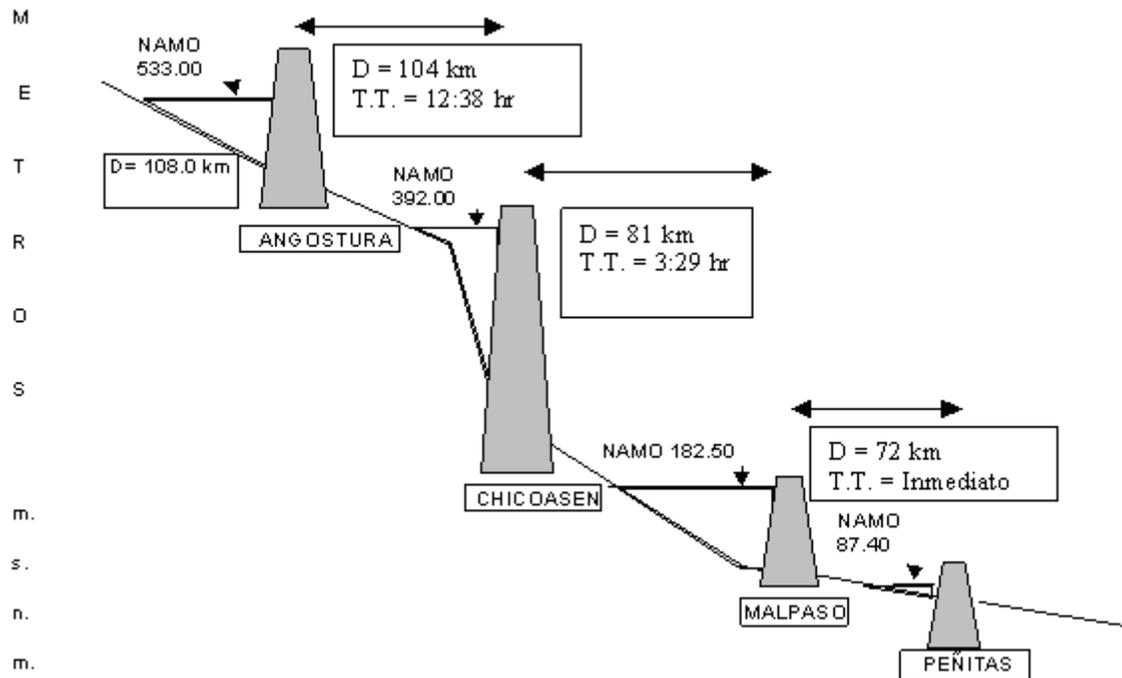


ILUSTRACIÓN 2- COMPLEJO HIDROELÉCTRICO GRIJALVA

La construcción de la C.H. Manuel Moreno Torres duró casi 6 años, dando inicio en 1974 y generando energía eléctrica en el año de 1980 con sus primeras 5 unidades turbogeneradoras con capacidad de 300 MW cada una, por lo que en ese período se tenía una generación de 1,500 MW. Años más tarde se construyeron 3 unidades

turbogeneradoras adicionales, que fueron puestas en funcionamiento en junio de 2004 dando una capacidad instalada actualmente de 2400 MW.

Consta de una cortina de enrocamiento con una altura de 255 m y una longitud sobre la corona de 515 m obteniendo una capacidad de almacenamiento de 1,705 millones de m³ de agua. Se eligió este tipo de cortina tomando en cuenta costo y riesgo sísmico. La obra de toma consiste en un canal de llamada para 8 bocatomas en rampa. La casa de máquinas se aloja en caverna y tiene 20.50 m de ancho, 199 m de largo y 43 m de altura. La obra de excedencia, está formada por un canal de llamada que conduce hasta 15,000 m³ de agua a través de 3 túneles de 15 m de diámetro y 1,300 m de longitud. El proyecto incluyó la perforación y estabilización del primer túnel carretero construido en el país con casi 900 m de longitud. En la Ilustración 3 se aprecia la cortina de enrocamiento de la C.H. Manuel Moreno Torres.



ILUSTRACIÓN 3- CORTINA DE ENROCAMIENTO

2.1.2. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL.

La producción de energía eléctrica se divide en 3 principales procesos que son los de generación, transmisión y distribución. De aquí parten las nueve Gerencias Regionales de Transmisión, que se dividen a lo largo y ancho del país en:

- Gerencia Regional de Transmisión Baja California
- Gerencia Regional de Transmisión Noroeste
- Gerencia Regional de Transmisión Noreste
- Gerencia Regional de Transmisión Occidental
- Gerencia Regional de Transmisión Oriental
- Gerencia Regional de Transmisión Centro
- Gerencia Regional de Transmisión Sureste
- Gerencia Regional de Transmisión Peninsular

A continuación, en la Ilustración 4 se muestran las G.R.T (Gerencias Regionales de Transmisión) y su ubicación geográfica.



ILUSTRACIÓN 4-UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS G.R.T

2.1.2.1. GERENCIA REGIONAL DE TRANSMISIÓN SURESTE (G.R.T.S.E).

La Gerencia Regional de Transmisión Sureste se localiza en la parte sureste de la república mexicana abarcando los estados de Chiapas, Tabasco, Oaxaca y parte

de Veracruz. La sede de esta gerencia se encuentra localizada en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez en Carretera Panamericana no. 5675, colonia Plan de Ayala, tal y como se aprecia en la Ilustración 5.

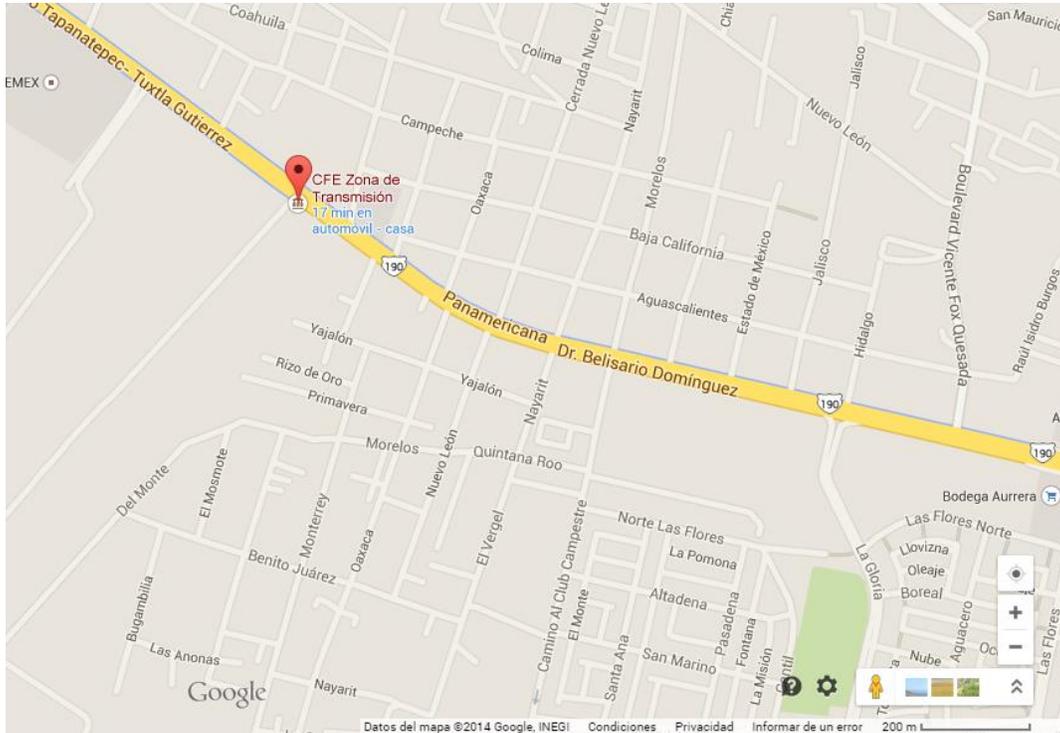


ILUSTRACIÓN 5- UBICACIÓN DE LA SEDE DE LA G.R.T.S.E

La Gerencia Regional de Transmisión Sureste tiene a su cargo 5 Zonas de Transmisión las cuales son:

- Zona de Transmisión Tuxtla
- Zona de Transmisión Istmo
- Zona de Transmisión Malpaso
- Zona de Transmisión Villahermosa
- Zona de Transmisión Tapachula

Que se dividen de manera geográfica tal y como lo muestra la Ilustración 6.



ILUSTRACIÓN 6- ZONAS DE TRANSMISIÓN DE LA GRTSE

2.1.2.1.1. ZONA DE TRANSMISIÓN TUXTLA.

La Zona de Transmisión Tuxtla, se encuentra en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Atiende las Subestaciones Eléctricas Manuel Moreno Torres “Chicoasén”, Angostura y El Sabino interconectadas al Sistema Interconectado Nacional mediante enlaces de 400 kV y a la red de distribución en 115 kV, para suministrar la demanda de energía de las principales ciudades del Estado de Chiapas.

Cuenta con 3 Secciones Sindicales del SUTERM; Sección 155 Chicoasén, Sección 130 Angostura y Sección 47 Tuxtla.

En el ámbito geográfico, se cuenta con 9 líneas de transmisión de 400 KV y 2 de 115 KV, distribuidas en la Zona de Transmisión Tuxtla (ZTTux) tal y como se aprecia en la Ilustración 7.

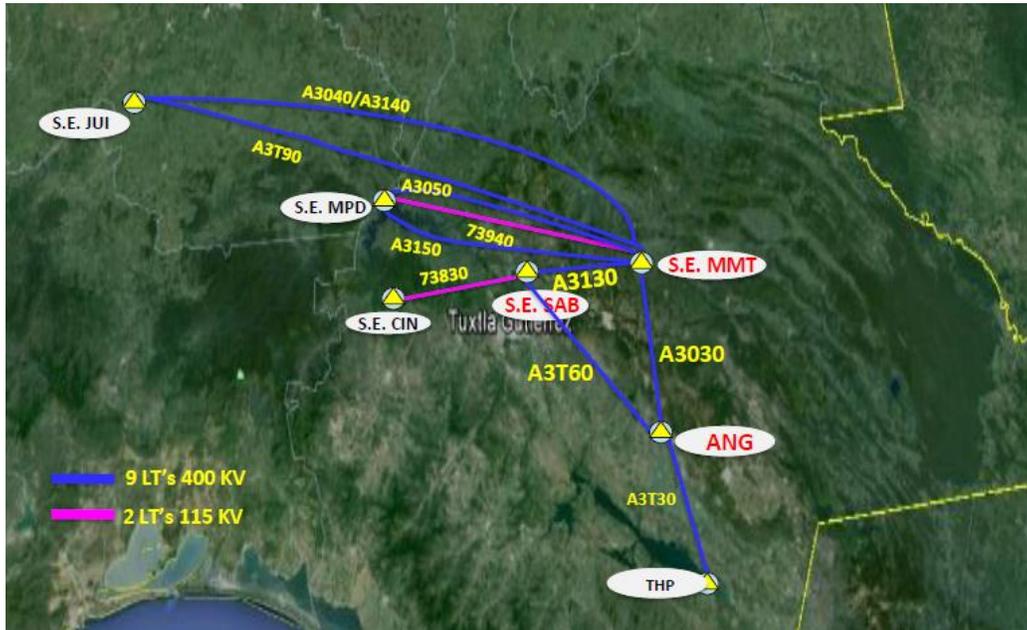


ILUSTRACIÓN 7- LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EXISTENTES EN LA ZTTUX.

2.1.2.1.2. ORGANIGRAMA DE LA ZONA.

Un organigrama es la representación gráfica de la estructura de una empresa o cualquier otra organización. Representa las estructuras departamentales y las personas que la dirigen.

En la Ilustración 8 se muestran los principales Departamentos que conforman la Zona de Transmisión Tuxtla.

GRUPO DIRECTIVO

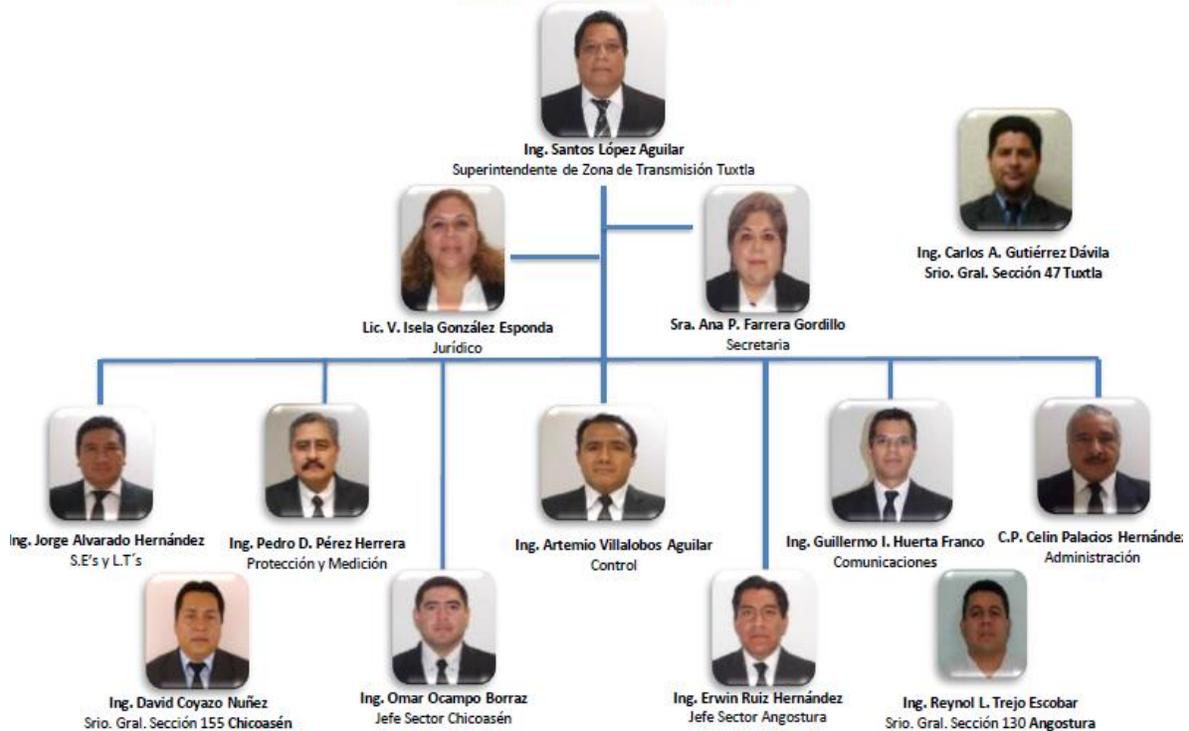


ILUSTRACIÓN 8- TITULARES DE LOS DEPARTAMENTOS.

2.1.3. MISIÓN, VISIÓN Y VALORES.

MISIÓN.

Asegurar la disponibilidad de la red eléctrica de potencia y proporcionar servicios de telecomunicaciones mediante una eficiente planeación y ejecución de mantenimiento y modernización, satisfaciendo las expectativas de nuestros clientes, respetando el medio ambiente y fomentando una mejor calidad de vida a nuestros trabajadores.

VISIÓN.

Ser una organización de calidad, socialmente comprometida, rentable y eficiente en sus procesos, con tecnología de vanguardia en constante desarrollo, personal altamente capacitado y motivado, que proporciona a sus clientes diversidad de servicios competitivos con enfoque empresarial.

VALORES.

- Trabajo en equipo
- Honestidad
- Responsabilidad
- Comunicación
- Seguridad
- Respeto

2.1.4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DONDE SE REALIZÓ EL PROYECTO.

Como se presentó en el organigrama de la Zona de Transmisión Tuxtla, cuenta con diversos departamentos y uno de estos es el de Comunicaciones teniendo como encargado de toda la Zona al Ing. Guillermo Huerta. En puntos anteriores se comentó que la Zona de Transmisión Tuxtla tiene a su cargo 3 subestaciones: Chicoasén (MMT), Angostura y El Sabino.

El proyecto se desarrolló en las 3 subestaciones, sin embargo la mayor parte del trabajo fue realizado en la subestación MMT debido a las facilidades prestadas por la Oficina de Comunicaciones que es comandada por el Ing. Enrique Méndez.

A continuación se muestran dos imágenes, la ilustración 9 señala la ubicación geográfica de las 3 subestaciones y la ilustración 10 hace un acercamiento de la Subestación MMT.

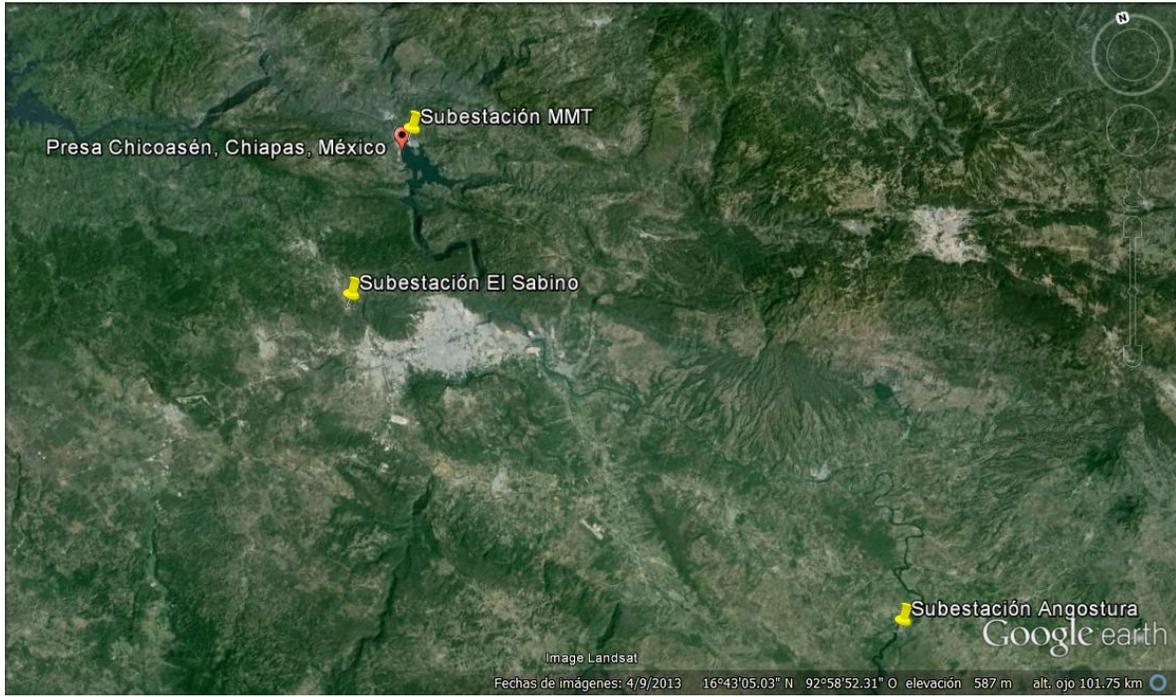


ILUSTRACIÓN 9- SUBESTACIONES DONDE SE LLEVÓ A CABO EL PROYECTO.



ILUSTRACIÓN 10- SUBESTACIÓN MMT

2.1.5. PROBLEMAS A RESOLVER.

- Derivado de la reforma de telecomunicaciones, la red nacional de fibra óptica con la que cuenta actualmente CFE será cedida a TELECOM por lo que se requiere la implementación de una red nacional con infraestructura propia que cubra las necesidades internas de la empresa.
- Modernizar las comunicaciones con la implementación de una red MPLS-TP debido a que la creciente demanda de servicios Ethernet ha desbancado tecnologías TDM y en poco tiempo a DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*), por lo que la empresa necesita estar a la vanguardia en estos aspectos.
- Facilitar la canalización y descanalización, con la implementación de la red MPLS-TP, ya que en la red DWDM existente solo puede realizarse en ciertos nodos de la red.
- Instalar la red MPLS-TP para mejorar los períodos de latencia en caso de contingencias, ya que en la red DWDM el direccionamiento se realiza de manera manual, y de esta manera evitar multas por parte de los organismos de control.

CAPÍTULO III

3.1. FUNDAMENTO TEÓRICO.

El medio de comunicación utilizado para enlazar los equipos de datos es la fibra óptica, por lo que a continuación se describe sus principios de operación.

3.1.1. FIBRA ÓPTICA.

La fibra óptica es un medio físico (esencialmente transparente a la luz y al infrarrojo) compuesto por filamentos de vidrio y que transporta señales luminosas; para que se dé una transmisión usando este medio se necesita que en los extremos de ésta existan dispositivos electrónicos que de un lado envíen la información en forma de pulsos de luz, y del otro lado haya un interpretador de esta información que reciba y decodifique la señal.

Este medio de transmisión óptico se comporta como una guía de onda, lo cual permite la propagación de ondas electromagnéticas longitudinalmente. Es decir, una vez que la luz es insertada en uno de los extremos de la fibra, circula siempre en su interior reflejándose contra las paredes, hasta alcanzar el otro extremo.

Las fibras ópticas se componen básicamente por tres estructuras concéntricas: núcleo (core), revestimiento (cladding) y un recubrimiento (buffer). El índice de refracción del núcleo es mayor que el del revestimiento, razón por la cual, la luz introducida en la fibra se mantiene y propaga a través del núcleo. A continuación se aprecian dos ilustraciones, en la Ilustración 11 se muestra las partes que conforman la fibra óptica y en la Ilustración 12 se observa un conjunto de fibras transmitiendo luz visible.

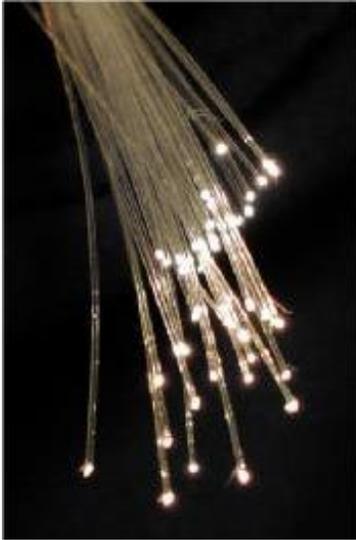


ILUSTRACIÓN 12- FIBRA ÓPTICA.



ILUSTRACIÓN 11- PARTES COMPONENTES DE LA FIBRA ÓPTICA

3.1.1.1. PRINCIPIO BÁSICO DE TRANSMISIÓN POR FIBRA ÓPTICA.

La transmisión por fibra óptica involucra el cambio de las señales eléctricas en pulsos de luz, usando un transmisor opto electrónico y enviando los pulsos hacia el núcleo de una fibra óptica. Ya que el núcleo (n_1) y el revestimiento (n_2) circundante tienen índices de refracción diferentes ($n_1 > n_2$), la luz es atrapada dentro del núcleo. Al extremo opuesto, un receptor cambia los pulsos regresándolos a señales eléctricas.

Los principios básicos de transmisión se justifican aplicando las leyes de la óptica geométrica, principalmente, la ley de la refracción (principio de reflexión interna total) y la ley de Snell.

Su funcionamiento se basa en transmitir por el núcleo de la fibra un haz de luz, tal que este no atraviese el núcleo, sino que se refleje y se siga propagando, esto solo para las fibras multimodo con un diámetro del núcleo de $62.5 \mu\text{m}$., para el caso de las fibras monomodo, el haz de luz atraviesa el núcleo, esto se debe a la reducción del diámetro del mismo hasta aproximadamente 8 a $10 \mu\text{m}$.

Ley de Snell.

La ley de Snell es una fórmula simple utilizada para calcular el ángulo de refracción de la luz al atravesar la superficie de separación entre dos medios de índice de refracción distinto. Esta ley dice que el producto del índice de refracción por el seno del ángulo de incidencia es constante para cualquier rayo de luz incidiendo sobre la superficie que separa los dos medios. La Ilustración 13 muestra de manera gráfica la Ley de Snell.

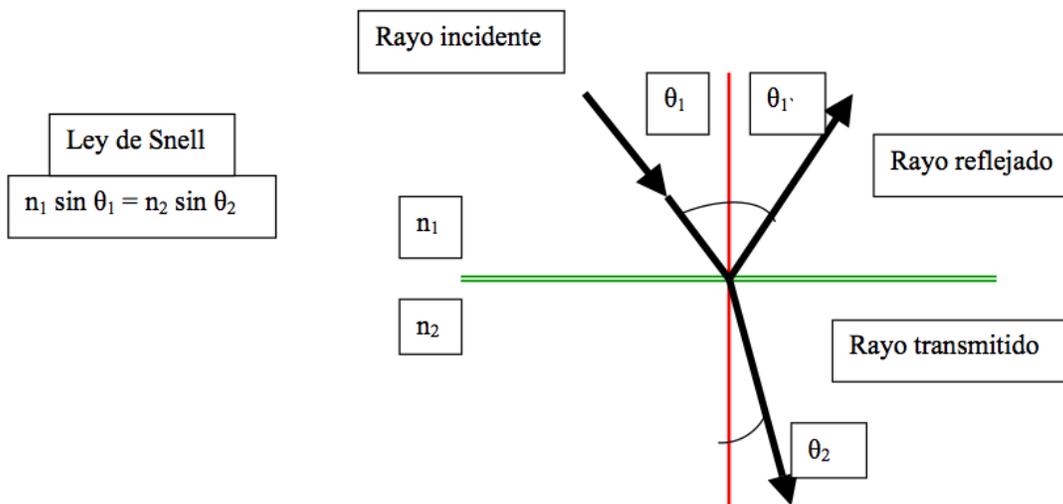


ILUSTRACIÓN 13- LEY DE SNELL

Para un rayo luminoso con un ángulo de incidencia θ_1 sobre el primer medio, ángulo entre la normal a la superficie y la dirección de propagación del rayo, tendremos que el rayo se propaga en el segundo medio con un ángulo de refracción θ_2 cuyo valor se obtiene por medio de la ley de Snell ($n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$).

Teniendo en cuenta la ley de Snell, si $n_1 > n_2$, entonces $\theta_1 > \theta_2$. Eso significa que cuando θ_1 aumenta, θ_2 llega a 90° antes que θ_1 . Es decir, que el rayo refractado (o transmitido) sale paralelo a la frontera. Si θ_1 aumenta aún más, como θ_2 no puede ser mayor de 90° , no hay transmisión al otro medio y la luz se refleja totalmente. En la Ilustración 14 se muestra el concepto gráfico de la reflexión total interna.

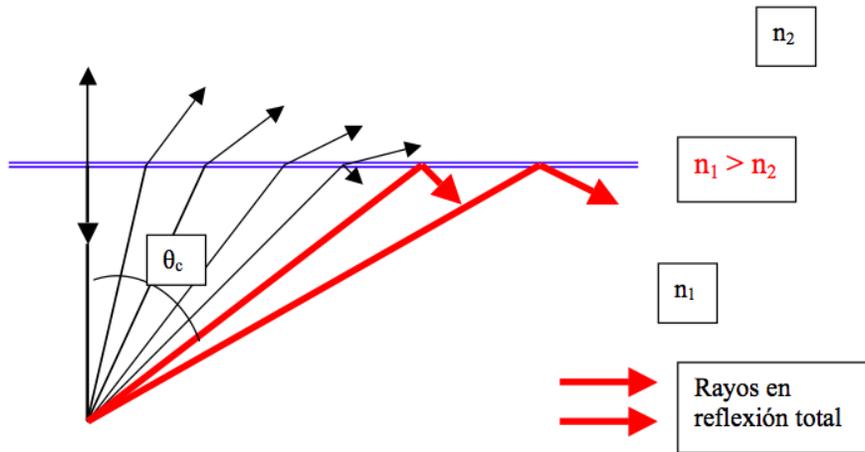
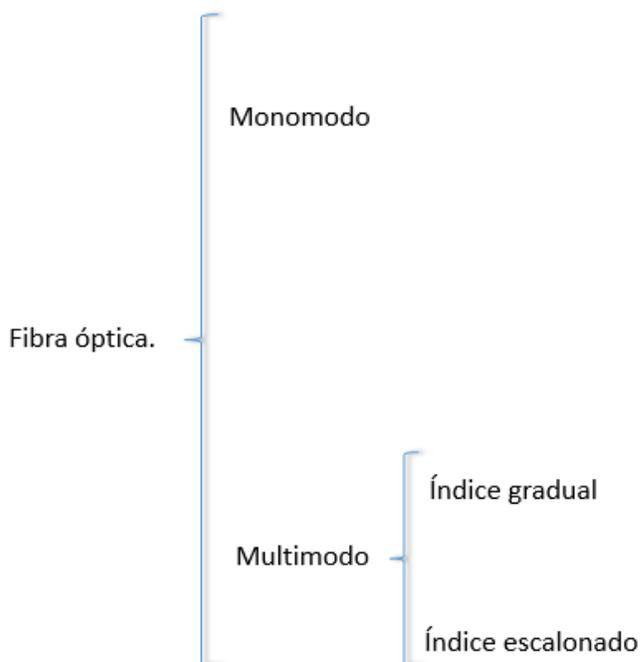


ILUSTRACIÓN 14-REFLEXION TOTAL INTERNA

3.1.1.2. TIPOS DE FIBRA ÓPTICA.

Las fibras ópticas se clasifican de acuerdo al modo de propagación que dentro de ellas describen los rayos de luz emitidos.



3.1.1.2.1. FIBRA MULTIMODO DE ÍNDICE ESCALONADO.

Son aquellas en las cuales el valor del índice de refracción en el núcleo permanece siempre constante y mayor que el valor del índice de refracción del revestimiento. Una fibra que esté constituida por un núcleo de vidrio y recubrimiento de plástico se le denomina fibra PCS (Plastic-Clad Silica) con este tipo de fibras se pueden obtener elevadas aperturas numéricas (NA), y se caracterizan por tener un diámetro de núcleo ancho, atenuación elevada y pequeño ancho de banda. Lo importante de esta fibra es que al tener una elevada AN, permite el uso de LED's como emisor de superficie de bajo costo, así como conectores baratos.

En la tabla 1 se muestran los parámetros de una fibra multimodo de índice escalonado.

<i>Diámetro del núcleo mm</i>	<i>Recubrimiento μm</i>	<i>NA</i>	<i>Atenuación dB/km 850 nm</i>	<i>Ancho de banda MHz-km</i>
1000	1250	0.20	10	20
800	1000	0.20	10	20
600	750	0.20	10	20
600	620	0.37	6	9
400	500	0.20	10	20
200	240	0.26	10	20
200	230	0.37	6	17
125	200	0.29	5	20
100	150	0.20	5	25
100	150	0.20	5	25
100	140	0.29	5	20

TABLA 1- PARÁMETROS DE FIBRA MULTIMODO DE ÍNDICE ESCALONADO

En estos tipos de fibras los distintos modos de propagación o rayos siguen distintos caminos y llegan al otro extremo en instantes diferentes, provocando ensanchamiento de la señal óptica transmitida como se puede ver en la ilustración.

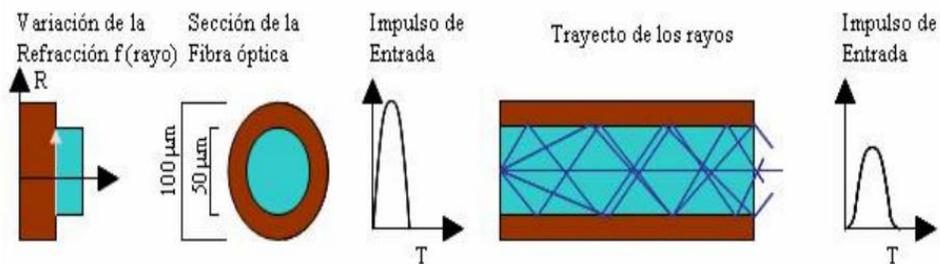


ILUSTRACIÓN 15- FIBRA DE ÍNDICE ESCALONADO

El número máximo de modos de luz que pueden existir en el núcleo de una fibra depende de su apertura numérica, de su diámetro y de la longitud de onda de la luz.

3.1.1.2.2. FIBRA MULTIMODO DE ÍNDICE GRADUAL.

Este tipo de fibra consiste de un núcleo cuyo índice de refracción varía de manera gradual con la distancia a lo largo del eje con el objetivo de disminuir los efectos de la dispersión modal. Al igual que la fibra de índice escalonado, el núcleo está rodeado por un revestimiento de menor índice refractivo.

Las fibras de índice gradual ofrecen una buena aceptación de la luz y ancho de banda, mejor que las ofrecidas por las de índice escalonado. Otras características ofrecidas son:

- Diámetro del núcleo moderado.
- Baja apertura numérica.
- Atenuación moderada.

El ancho de banda mejorado se debe a la estructura especial de la fibra que permite un índice de refracción distribuido como lo representa la Ilustración 16.

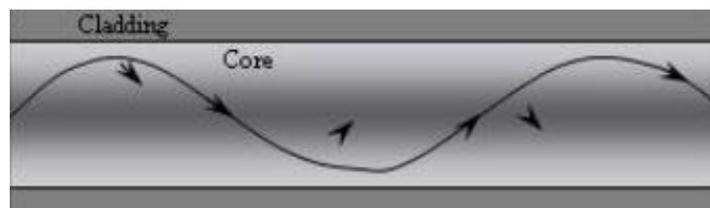


ILUSTRACIÓN 16- PERFIL DE LA FIBRA DE ÍNDICE GRADUAL.

Las fibras de índice gradual fueron diseñadas especialmente para las telecomunicaciones, por largo tiempo los diámetros estándares han sido de 50 y 62.5 μm , con un cladding de 125 μm .

3.1.1.2.3. FIBRA MONOMODO.

Estas fibras están caracterizadas por contener un núcleo de pequeñísimo diámetro, pequeña NA, baja atenuación y gran ancho de banda. Tiene una banda de paso del orden de los 100 GHz/Km. Los mayores flujos se consiguen con esta fibra, pero también es la más compleja de implantar, construir y manipular. La Ilustración 17 muestra que solo pueden ser transmitidos los rayos que tienen una trayectoria que sigue el eje de la fibra, por lo que se ha ganado el nombre de “Monomodo”.

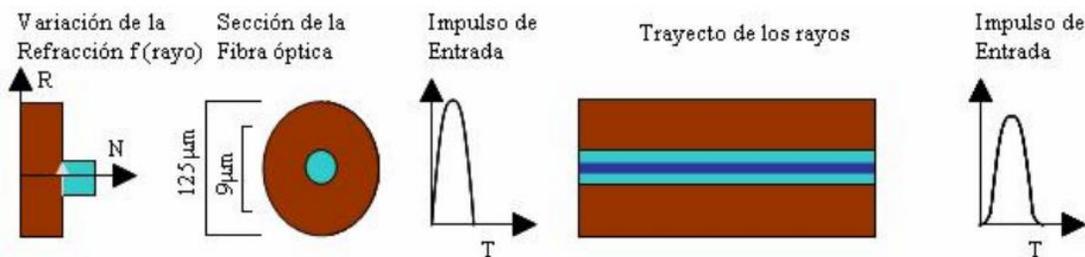


ILUSTRACIÓN 17- FIBRA MONOMODO

El requerimiento básico para tener una fibra monomodo es que el núcleo sea lo suficientemente pequeño para restringir la comunicación a un solo modo. Desde que una transmisión en modo único evita la dispersión modal, el ruido modal y otros efectos típicos de una transmisión multimodo; esta fibra puede transmitir señales a mayor velocidad y es la que se ha adoptado como estándar en las telecomunicaciones.

3.1.1.3. ATENUACIÓN.

Se le conoce como atenuación a la pérdida de potencia de la señal óptica, en proporción inversa a la longitud de fibra. La unidad utilizada para medir la atenuación en una fibra óptica es el decibel (dB). La atenuación de la fibra se expresa en dB/Km, este valor significa la pérdida de luz en un Km.

La atenuación tiene varios efectos adversos al funcionamiento, que incluyen la reducción del ancho de banda del sistema, la rapidez de la transmisión de información, la eficiencia y la capacidad general del sistema. La fórmula normal con la que se expresa la pérdida total en una fibra es:

$$A_{(dB)} = 10 \log \frac{P_{sal}}{P_{ent}}$$

En la que:

$A_{(dB)}$ = Reducción total de potencia (dB)

P_{sal} = Potencia de salida de la fibra (watts)

P_{ent} = Potencia de entrada en la fibra (watts)

La tabla 2 muestra la potencia de salida como porcentaje de la potencia de entrada para un cable de fibra óptica a distintos valores de pérdida en dB. Un cable con pérdida de 3 dB reduce la potencia de salida al 50% con respecto a la potencia de entrada.

Pérdida (dB)	Potencia de salida (%)
1	79
3	50
6	25
9	12.5
10	10
13	5
20	1
30	0.1
40	0.01
50	0.001

TABLA 2- PORCENTAJE DE POTENCIA DE SALIDA EN FUNCIÓN DE LA PÉRDIDA EN DB

La atenuación es causada por diversos factores que van desde la composición de la fibra, técnicas de reparación, grado de pureza del material y estructura de la fibra. El diagrama 1 muestra la clasificación de los principales factores.



DIAGRAMA 1- DIVISIÓN DE LA ATENUACIÓN SEGÚN EL FACTOR QUE LA PRODUCE.

3.1.1.3.1. PÉRDIDAS POR ABSORCIÓN DEL MATERIAL.

Estas pérdidas son debidas a la composición de la fibra y al método de fabricación. La potencia perdida se transforma en calor en la fibra. La absorción puede ser intrínseca (causada por los componentes del vidrio) o extrínseca (causada por impurezas no deseadas).

3.1.1.3.2. PÉRDIDAS POR CURVATURA.

Las pérdidas por curvatura, se producen porque los rayos de luz en el exterior de una curvatura pronunciada no pueden viajar con suficiente rapidez como para mantener el ritmo de los demás rayos, y se pierden. La Ilustración 18 muestra las pérdidas por micro y macro curvaturas.

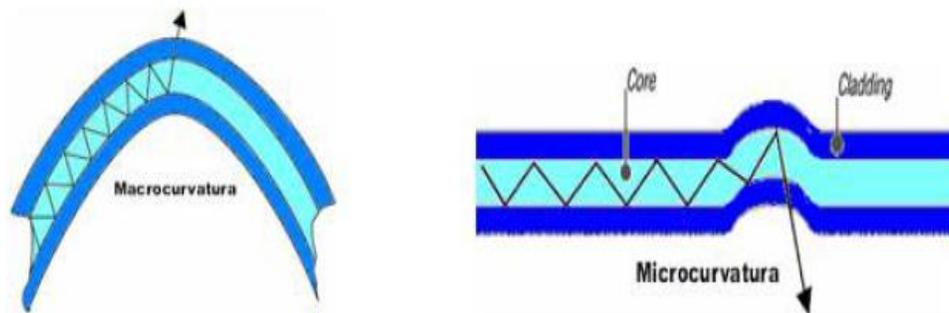


ILUSTRACIÓN 18- PÉRDIDAS POR CURVATURA Y MICRO CURVATURA.

3.1.1.4. DISPERSIÓN.

La dispersión es el fenómeno por el cual un pulso se deforma a medida que se propaga a través de la fibra óptica, debido a que las distintas componentes de la señal viajan a distintas velocidades llegando al receptor en distintos instantes de tiempo. La cantidad de dispersión óptica depende de dos factores: la tasa de transmisión de bits y la longitud del canal de comunicación. La Ilustración 19 muestra el solapamiento de los pulsos cuando existe dispersión de la señal.

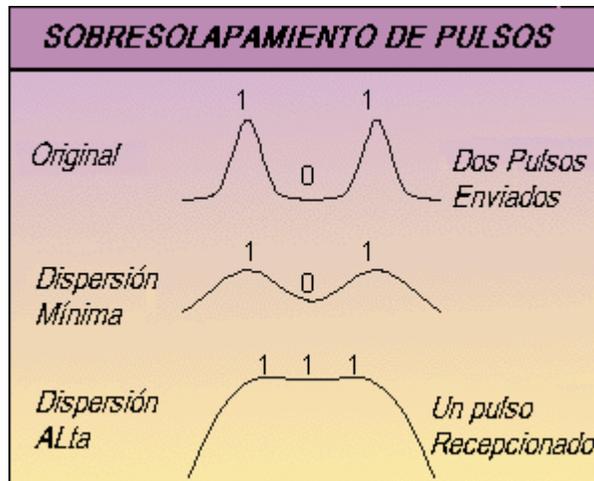


ILUSTRACIÓN 19- UNA EXCESIVA DISPERSIÓN CONDUCE A UNA INTERFERENCIA INTERSIMBÓLICA

3.1.1.4.1. DISPERSIÓN CROMÁTICA.

La dispersión intramodal o cromática puede darse en todos los tipos de fibra y es debido a que el emisor óptico no es totalmente monocromático sino que tiene un ancho de banda espectral. En el caso de los láseres el ancho de banda es pequeño pero en los LED's ya es un porcentaje significativo respecto a la frecuencia central de emisión, este ancho de banda no nulo implica que puede haber diferencias en la velocidad de transmisión de cada una de las componentes espectrales de la señal. Las diferencias en la velocidad de transmisión ensancharán los pulsos de luz dentro de un modo, por ello se llama intramodal. Las diferencias en los retardos de las diferentes componentes cromáticas de cada modo pueden ser debidas a dos motivos, las propiedades dispersivas del material de la fibra (dispersión del material) y al guiado en la estructura de la fibra (dispersión de la guía-onda). La Ilustración 20 muestra las diferencias de ancho espectral entre una fuente emisora LASER y una LED.

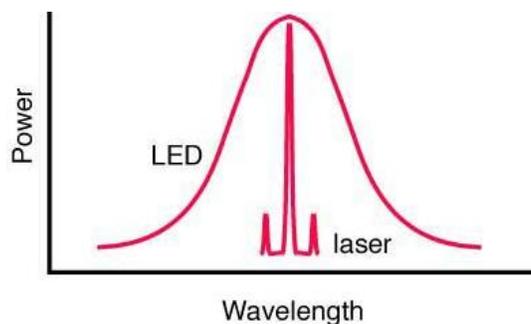


ILUSTRACIÓN 20- ANCHO ESPECTRAL DEL LASER Vs. LED

3.1.1.4.2. DISPERSIÓN MODAL.

El ensanchamiento de los pulsos debido a dispersión temporal intermodal, también llamada dispersión modal, es debida a los retardos de propagación entre distintos modos y por tanto no afecta a las fibras monomodo. Los distintos modos que constituyen un pulso lumínico tienen distintas velocidades de grupo y por tanto el ensanchamiento del pulso depende de las diferencias entre los tiempos de transmisión del modo más lento y más rápido. Las fibras multimodo sufren este fenómeno y entre ellas en mucha mayor medida las de índice abrupto. El ensanchamiento en fibras graduales es mucho menor que el que se obtiene en fibras con índice abrupto, la relación entre ambas puede ser de 100. Esto implica que las fibras graduales tienen una gran ventaja por su mucho mayor ancho de banda. La Ilustración 21 muestra la dispersión modal en los dos tipos de fibras multimodo.

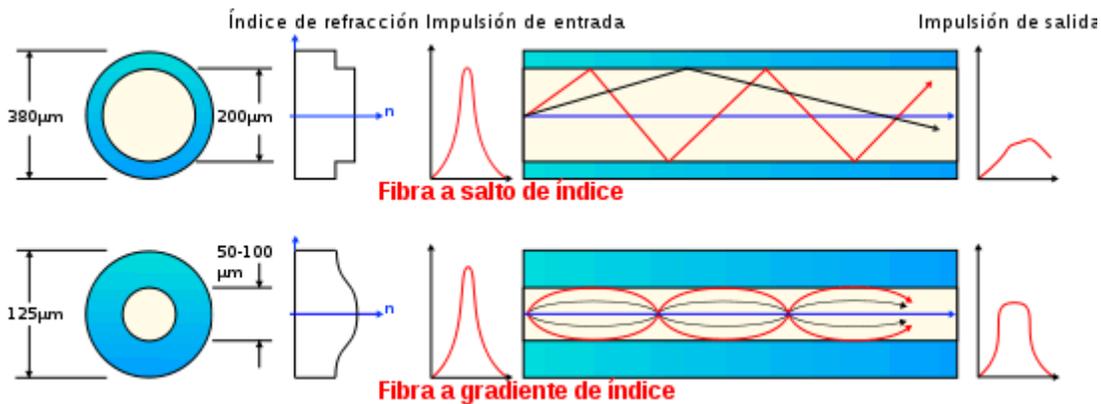


ILUSTRACIÓN 21- DISPERSIÓN MODAL EN LOS DOS TIPOS DE FIBRA MULTIMODO.

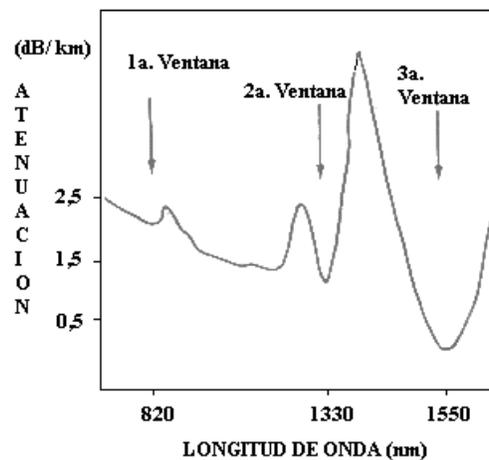
3.1.1.5. VENTANAS DE TRANSMISIÓN.

Se ha descubierto por medio del análisis matemático y a través de experimentos que en varios materiales existen las llamadas "ventanas ópticas". Esto significa que a determinadas frecuencias, las ondas pasaran a través de esos materiales más fácilmente que a otras frecuencias (luminosas).

Existen en el espectro 3 ventanas ópticas:

- **Primer ventana (820-880 nm.):** Es usada frecuentemente por sistemas multimodo y para LAN's de corta distancia. Esta banda tiene una pérdida de **2 y 3 dB/Km.**
- **Segunda ventana (1285-1330 nm):** También conocida como banda corta (S), su importancia se debe a su proximidad a la longitud de onda de dispersión nula. Esta banda tiene una pérdida de **0.5 dB/Km.**
- **Tercera ventana (1525-1565 nm):** También conocida como banda convencional (C). La mayoría de las redes metropolitanas y de larga distancia utilizan esta banda. Esta banda tiene una pérdida de **0.2 dB/Km.**

En la gráfica 1 se aprecian las 3 ventanas de transmisión y sus atenuaciones que las caracterizan.



GRÁFICA 1- VENTANAS DE OPERACIÓN

3.1.1.6. CABLE ADSS.

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

Estos cables ópticos son inmunes a interferencias de las redes eléctricas y no son susceptibles a la caída de rayos ya que carece de elementos metálicos. El cable

óptico, tiene un revestimiento extra de polietileno que envuelve al cable óptico dieléctrico y al elemento de sustentación externo no metálico. Lo cual proporciona la necesaria resistencia a la tracción. Entre las características de este tipo de cable: Presenta la mayor área en su sección transversal, por lo que el elemento de apoyo externo y el cable óptico esta físicamente separadas por una franja de polietileno que aumenta el diámetro del cable. La Ilustración 23 muestra la estructuración interna de un cable ADSS de la marca WAVEOPTICS.

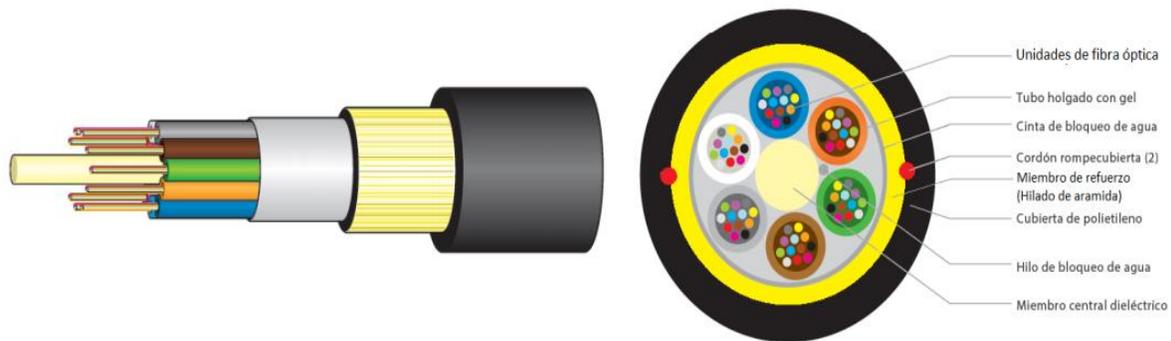


ILUSTRACIÓN 22- ESTRUCTURA INTERNA DEL CABLE ADSS DE LA MARCA WAVEOPTICS

3.1.1.7. CABLE OPGW.

La fibra OPGW (Optical Ground Wire) son cables de fibra óptica y están diseñados para extenderse más de 10 Km., es muy común que este tipo de cable reemplace al cable de guarda existente en la red de transmisión eléctrica, permitiendo un doble uso real aprovechando mejor los recursos de la torre de transmisión eléctrica.

El cable de fibra OPGW está constituido por un núcleo de aluminio flexible, dentro del mismo se concentran los tubos buffer, que permiten a la fibra óptica distribuirse entre ellos en número de 6, 12, 16, 24 o 48 fibras.

Los cables de fibra OPGW por lo regular son instalados entre las líneas de alta tensión.

Este tipo de cable tiene dos funciones principales: La primera es que se utiliza como cable de tierra en las líneas de alta tensión, y número dos, proporcionan un enlace de comunicación excelente para la transmisión de información como datos, voz y vídeo mediante la incorporación de fibra óptica dentro de dicho cable. Se utiliza en la construcción de líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica.

También la fibra OPGW se utiliza para reemplazar los cables de tierra convencional de las líneas de energía antiguas y que incorporan la función de comunicaciones a través de fibra óptica. En la Ilustración 24 se aprecia un cable OPGW de la marca Pirelli y en la Ilustración 25 se muestra la ubicación del cable OPGW en las torres de alta tensión.



ILUSTRACIÓN 23- CABLE OPGW DE LA MARCA PIRELLI.

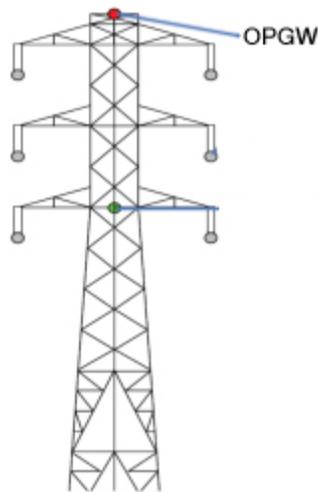


ILUSTRACIÓN 24- UBICACIÓN DEL CABLE OPGW EN LA LÍNEA DE ALTA TENSIÓN.

3.1.1.8. EMPALMES.

En las instalaciones de sistemas de fibra óptica es necesario utilizar elementos de interconexión a modo de empalmes y conectores. A la hora de realizar estos empalmes y conexiones se debe procurar que las pérdidas sean lo más reducidas posibles. Se recurre al empalme cuando se requiere unir tramos de cable de fibra óptica en enlaces donde la distancia a cubrir es grande, utilizándose también para reparar cables ópticos ya instalados. Actualmente existen 3 formas de realizar un empalme de fibra: por fusión, por adhesión y mecánicos.

3.1.1.8.1. EMPALMES POR FUSIÓN.

Consiste en la unión permanente de las fibras mediante la fusión de las mismas, el empalme se realiza cuando las fibras llegan a una temperatura suficientemente alta como para fundirse. La duración del proceso es de alrededor de un minuto y se necesita una máquina para realizar el empalme. Es una técnica de muy altas prestaciones ya que se logran atenuaciones de 0.03- 0.05 dB (fibras monomodo). En la ilustración 26 se observa un empalme por fusión.

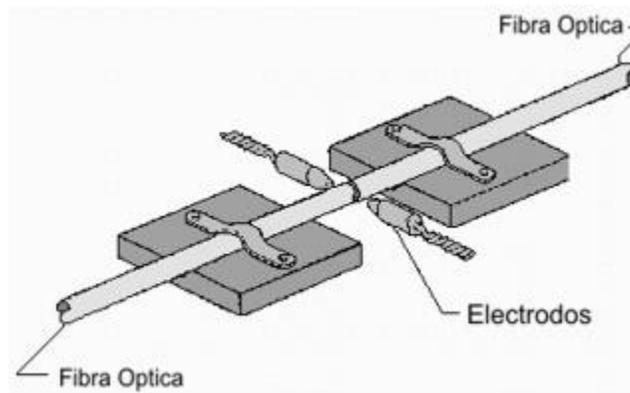


ILUSTRACIÓN 25- EMPALME POR FUSIÓN

3.1.1.8.2. EMPALMES POR ADHESIÓN.

Las fibras son insertadas en un mecanismo de alineación y luego unidas con un adhesivo epóxico, éste además de servir como elemento de unión es adaptador de índices de refracción. Se logran pérdidas de inserción de 0.1-0.5 dB.

3.1.1.8.3. EMPALMES MECÁNICOS.

Consiste en un tubo dividido horizontalmente, la parte de abajo es una base tipo V y la de arriba tipo plana, el espacio entre ambas se llena de un gel adaptador, se insertan las fibras cortadas y luego se cierran con unas grapas de presión que empujan las fibras hasta juntarlas.

3.1.1.9. CONECTORES.

Son uniones desmontables que permiten el conexionado y desconexión rápido, similar a los conectores BNC o a un enchufe eléctrico.

Los conectores desmontables tienen una mayor complicación ya que deben mantener una mínima atenuación en numerosas conexiones y desconexiones. Por tanto el diseño del conector debe permitir la conexión y desconexión sin problemas

de alineamiento, este proceso mecánico es fácil ver que puede llevar a la degradación de la unión.

Hay muchos conectores para fibra en el mercado y que tienen pérdidas en el rango de 0.2 a 0.3dB. Pueden separarse en dos categorías: los conectores de proximidad (*butt jointed connectors*) y los de haz expandido (*expanded beam connectors*). La funcionalidad de los primeros descansa en alcanzar que los extremos de las fibras estén lo más cercanos posible de forma que los núcleos coincidan, los segundos hacen uso de lentes de forma que el emisor expande el haz y el receptor lo enfoca al núcleo de su fibra.

3.1.1.9.1. CONECTORES DE PROXIMIDAD.

Es el conector más simple, la fibra desnuda está pegada (con resina) a una férula (cilindro metálico) cuyo agujero central tiene el diámetro de la fibra. Una vez fijada la fibra (estos conectores son macho) se introducirán en un cilindro guía de precisión que permite que los extremos de las fibras estén pegados. Una vez colocado el conector se fija mediante un mecanismo de retención que puede ser un muelle.

Para este tipo de conector es muy importante que los extremos de las fibras sean suaves y perpendiculares al eje de la fibra.

3.1.1.9.2. CONECTORES DE HAZ EXPANDIDO

Una alternativa a los conectores de proximidad son estos, su principio de funcionamiento se aprecia en la ilustración 27. Puede verse en la figura como la luz se expande debido a la apertura numérica de la fibra, el haz se convierte en un haz paralelo debido a una lente convergente con distancia focal y posteriormente otra lente convergente enfocará este haz en el núcleo de la segunda fibra.

El uso de la óptica convierte el alineamiento entre conectores en algo mucho menos crítico, la distancia entre fibras ya no es importante mientras que antes era crucial. Este tipo de conectores son muy útiles para conexión de múltiples fibras y para placas de circuito impreso donde los alineamientos lateral y longitudinal son difíciles de alcanzar.

Estos conectores tienen como ventaja de utilización que sus resultados son muy repetitivos y consiguen sin problemas atenuaciones menores de 0.5 dB.

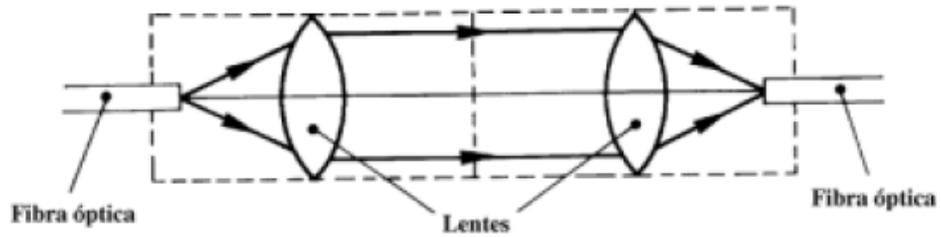


ILUSTRACIÓN 26- ESQUEMA SIMPLIFICADO DE UN CONECTOR DE HAZ EXPANDIDO.

En la tabla 4 se muestra los conectores utilizados en sistemas de fibra óptica y sus características.

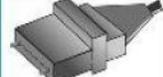
conector	pérdidas por inserción	repeatability	tipo de fibra	aplicaciones
 FC	0.50-1.00 dB	0.20 dB	SM, MM	Datacom, Telecommunications
 FDDI	0.20-0.70 dB	0.20 dB	SM, MM	Fiber Optic Network
 LC	0.15 db (SM) 0.10 dB (MM)	0.2 dB	SM, MM	High Density Interconnection
 MT Array	0.30-1.00 dB	0.25 dB	SM, MM	High Density Interconnection
 SC	0.20-0.45 dB	0.10 dB	SM, MM	Datacom
 SC Duplex	0.20-0.45 dB	0.10 dB	SM, MM	Datacom
 ST	Typ. 0.40 dB (SM) Typ. 0.50 dB (MM)	Typ. 0.40 dB (SM) Typ. 0.20 dB (MM)	SM, MM	Inter-/Intra-Building, Security, Navy

TABLA 4- CONECTORES UTILIZADOS EN SISTEMAS DE FIBRA ÓPTICA

3.1.1.10. FUENTES Y RECEPTORES ÓPTICOS.

3.1.1.10.1. FUENTES ÓPTICAS.

Las fuentes de luz para telecomunicaciones vía fibras ópticas deben ser compatibles con la fibra: pequeñas fáciles de modular a las velocidades utilizadas en los sistemas de comunicación y confiables. Dos tipos de fuentes de luz son compatibles para estas aplicaciones, los LED's y los LASER's. Estos dispositivos son diodos semiconductores que operan en polarización directa y emiten luz cuando los huecos y electrones se combinan en la zona activa. La modulación se realiza variando la corriente de excitación de los diodos, para lo cual se utiliza un circuito que proporciona una corriente modulada de niveles altos (10-100mA). Estos tipos fuentes de luz proporcionan suficiente potencia óptica (0.005-25mW) para transmitir señales a través de las fibras ópticas a varios kilómetros.

Los LED generan luz por emisión espontánea, radiándola en todas direcciones, por lo que un porcentaje pequeño se acopla a la fibra, normalmente del tipo multimodo. El LASER tiene construida internamente una cavidad resonante tal, que cuando se excede la corriente de umbral se tiene una emisión estimulada con gran amplificación de luz que se genera con alta coherencia, la cual puede acoplarse dentro de una fibra monomodo o multimodo.

En la tabla 5 se presenta una comparativa entre el LED y el LASER.

Característica	LED	LASER
Potencia de salida	Linealmente proporcional a la corriente conducida	Proporcional a la corriente sobre el umbral
Corriente	Conduce corriente de 50 a 100 mA Pico	Corriente de umbral de 5 a 40 mA
Potencia del acoplamiento	Moderada	Alta
Velocidad	Lento	Rápido
Ancho de banda	Moderado	Alto
Longitudes de onda que se pueden utilizar	066 a 1.65 μm	0.78 s 1.65 μm
Tipo de Fibra	Solamente multimodo	Multimodo o monomodo
Facilidad de uso	Fácil	Difícil
Tiempo de vida	Muy larga vida	Larga vida

TABLA 5- COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN LED Vs. LASER TÍPICOS.

3.1.1.10.2. DETECTORES ÓPTICOS.

De los componentes fundamentales del sistema de comunicaciones ópticas, el que menos ha evolucionado ha sido el fotodetector. Básicamente, el fotodetector no es más que una unión p-n polarizada en inversa que basa su funcionamiento en el fenómeno de absorción estimulada, es decir, el fotodetector produce una corriente eléctrica (genera un par electrón – hueco) cuando sobre la estructura incide luz (fotones).

Existen dos tipos de fotodetectores para sistemas de comunicaciones ópticas, el fotodiodo p-i-n y el fotodiodo APD. El primero de ellos se caracteriza por su alta fiabilidad y facilidad de fabricación, bajo ruido y compatibilidad con los amplificadores de bajo voltaje; mientras que el fotodiodo APD presenta una sensibilidad mucho mayor pero necesita altos voltajes de alimentación para su funcionamiento. Actualmente existen fotodiodos APD funcionando con voltajes bajos pero su precio se encarece mucho.

Los materiales que se han empleado en su fabricación han sido el silicio (Si) para detección de señales ópticas de longitud de onda alrededor de 820nm, el germanio (Ge) para la detección en longitudes de onda de 1300nm y el InGaAsP para longitudes de onda de 1550nm.

El receptor de un sistema de comunicaciones ópticas se diseña de acuerdo al tipo de señal que le va a llegar. En la gran mayoría de los casos los receptores se diseñan para sistemas digitales de detección directa, cuyo esquema más general consta de 3 partes, tal y como se muestra en la ilustración 28.

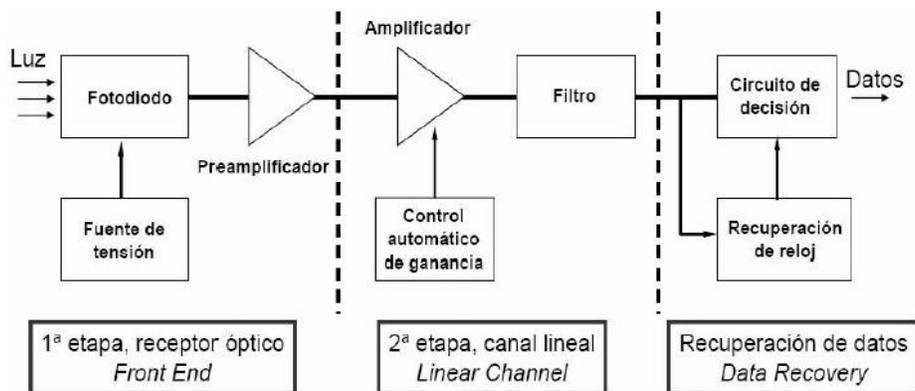


ILUSTRACIÓN 27- ESQUEMA GENERAL DE UN RECEPTOR ÓPTICO

3.1.2. REDES ÓPTICAS.

3.1.2.1. JERARQUIAS DE RED.

La arquitectura general de una red de comunicaciones ópticas puede dividirse en tres subredes: la red troncal o de área extensa (WAN – Wide Area Network), la red metropolitana (MAN – Metropolitan Area Network) y la red de acceso (AN – Access Network).

3.1.2.1.1. Red Troncal WAN.

Es la red de más alta jerarquía y está compuesta por la práctica totalidad de los enlaces de larga distancia, operando a altos regímenes binarios. Esta red es la encargada de interconectar los grandes núcleos urbanos. El estado actual de estas redes es muy bueno ya que han podido ser actualizadas recientemente con las nuevas infraestructuras ópticas basadas en DWDM, y por tanto, han podido soportar la creciente demanda de ancho de banda.

3.1.2.1.2. Red Metropolitana MAN.

Es el tramo de red de comunicaciones intermedio entre la red troncal y la red de acceso al usuario. Es la encargada de la distribución y concentración de la señal de información en los núcleos de población, con un rango de distancias entre 10Km y 100Km. La tecnología actual de estas redes está basada en la Jerarquía Digital Síncrona (SDH – Synchronous Digital Hierarchy o SONET – Synchronous Optical Network) operando a 155Mb/s, lo cual es insuficiente para cursar el tráfico generado por los nuevos usuarios de la Sociedad de la Información. Una situación más ventajosa es la que ofrecen algunos operadores de cable que si han desplegado redes de fibra en las grandes ciudades operando a regímenes binarios de 2.5Gb/s.

3.1.2.1.3. Red de Acceso

Es el tramo de red que lleva y recoge la señal de información al usuario. Constituye la parte de red más costosa debido a la necesidad de obra civil en la instalación de cables. El estado actual de esta red está basado principalmente en el par trenzado de cobre, en el cual no se pueden conseguir tasas binarias por encima de los 50Mb/s y restringidos a distancias cortas. Algunos operadores de cable han desplegado redes de acceso basadas en cable coaxial que ofrecen un mayor ancho de banda, pero que presentan el problema de tener un canal de retorno muy limitado.

En la Ilustración 29 se muestra un esquema general de una red de comunicaciones por fibra óptica.

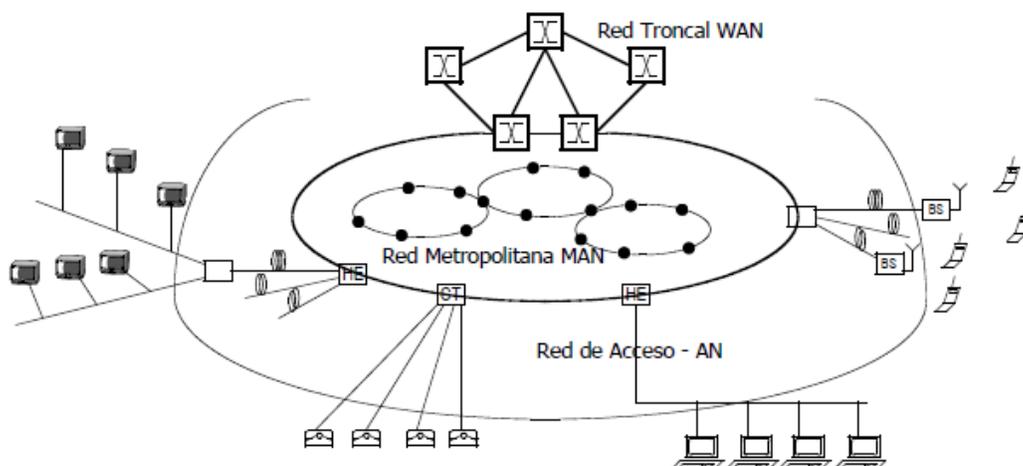


ILUSTRACIÓN 28- ESQUEMA GENERAL DE UNA RED POR FIBRA ÓPTICA.

3.1.2.2. TOPOLOGÍAS DE RED.

Las topologías de red describen la distribución física de la red. Para el caso de las redes de fibra óptica deben ser configuradas para dar flexibilidad y versatilidad para maximizar los beneficios asociados a estos sistemas de última generación.

Las topologías de red se dividen en dos partes: topologías físicas y topologías lógicas.

3.1.2.2.1. TOPOLOGÍAS LÓGICAS.

Describe el método por el cual se comunican entre sí los nodos de la red, independiente del trazado real físico que los una. Se pueden distinguir cuatro topologías lógicas estándar: lógica punto a punto, lógica en estrella, lógica tipo bus, lógica tipo anillo.

3.1.2.2.1.1. LÓGICA PUNTO A PUNTO.

Enlaza directamente dos dispositivos entre sí. Las aplicaciones incluyen conexiones entre computadoras con módems, enlaces multiplexados, enlaces de radio bidireccionales y enlaces satelitales.

En la ilustración 30 se muestra el esquema de una lógica punto a punto.

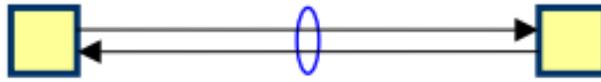


ILUSTRACIÓN 29- TOPOLOGÍA PUNTO A PUNTO.

3.1.2.2.1.2. LÓGICA EN ESTRELLA.

Es una configuración de enlaces punto a punto, en la que todos tienen un nodo en común.

En la ilustración 31 se muestra el diagrama de la topología en estrella.

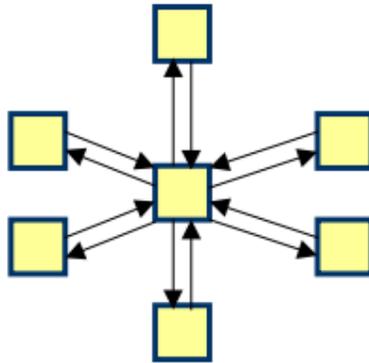


ILUSTRACIÓN 30- LÓGICA EN ESTRELLA.

3.1.2.2.1.3. LÓGICA TIPO BUS.

Todos los dispositivos se conectan a un bus común de transmisión, este bus es bidireccional. Cuando un dispositivo transmite información, todos los demás la reciben al mismo tiempo; como ejemplo a esta topología tenemos el estándar IEEE 802.3.

En la ilustración 32 se muestra el diagrama de la lógica tipo bus.

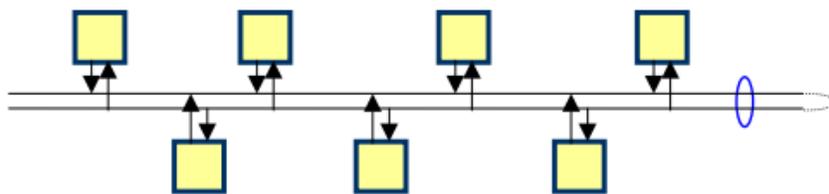


ILUSTRACIÓN 31- LÓGICA TIPO BUS.

3.1.2.2.1.4. LÓGICA TIPO ANILLO.

Todos los dispositivos se conectan en anillo, la transmisión tiene lugar en un cable por una dirección, sin embargo, si se usan dos anillos de transmisión, la configuración se llama anillo lógico de rotación inversa y se transmite en sentidos opuestos. La topología de doble anillo proporciona protección en caso de falla de cable o nodo. Como aplicaciones se tienen el IEEE Token Ring 802.5.

En la ilustración 33 se muestra el diagrama de la lógica tipo anillo.

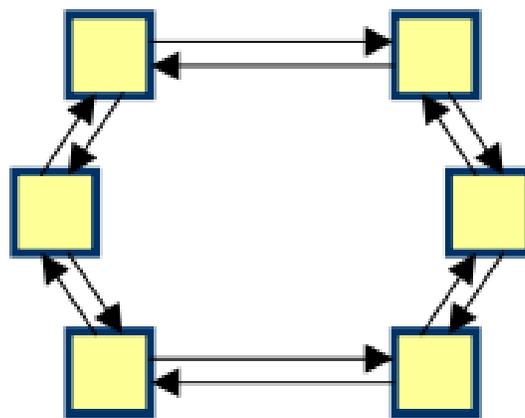


ILUSTRACIÓN 32-LOGICA TIPO ANILLO

3.1.2.2.2. TOPOLOGÍAS FÍSICAS.

Es el trazado real físico del cableado y los nodos de la red, este va a ser dependiente del medio y se puede implementar con la misma configuración que la topología lógica. Una topología física muy utilizada en redes es la de estrella, ya que ofrece:

- Flexibilidad y capacidad para soportar muchas aplicaciones y todas las topologías lógicas.
- Localización centralizada de interconexión.
- Mantenimiento y administración sencillos.
- Expansión sencilla.

En los sistemas de fibra óptica se implementan comúnmente topologías físicas punto a punto, estrella o anillo. La topología física en anillo se emplea cuando se requiere protección de red contra fallas de cable.

En las ilustraciones 34 y 35 se muestran ejemplos de topologías físicas con lógicas diferentes.

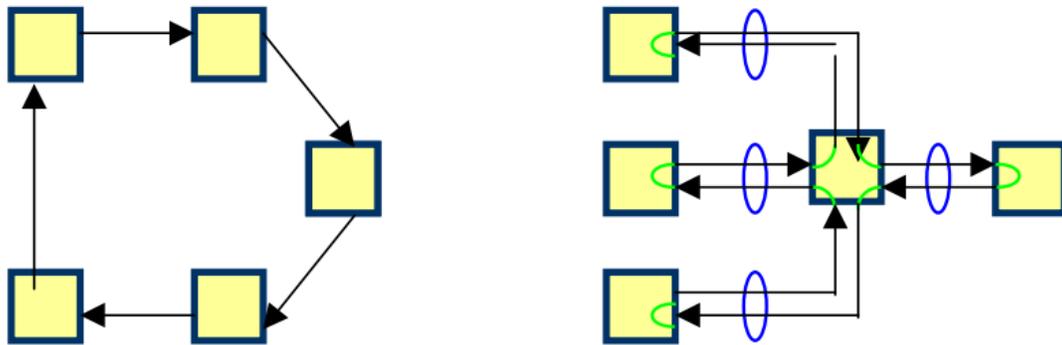


ILUSTRACIÓN 33- ANILLO LÓGICO IMPLEMENTADO POR ESTRELLA FÍSICA.

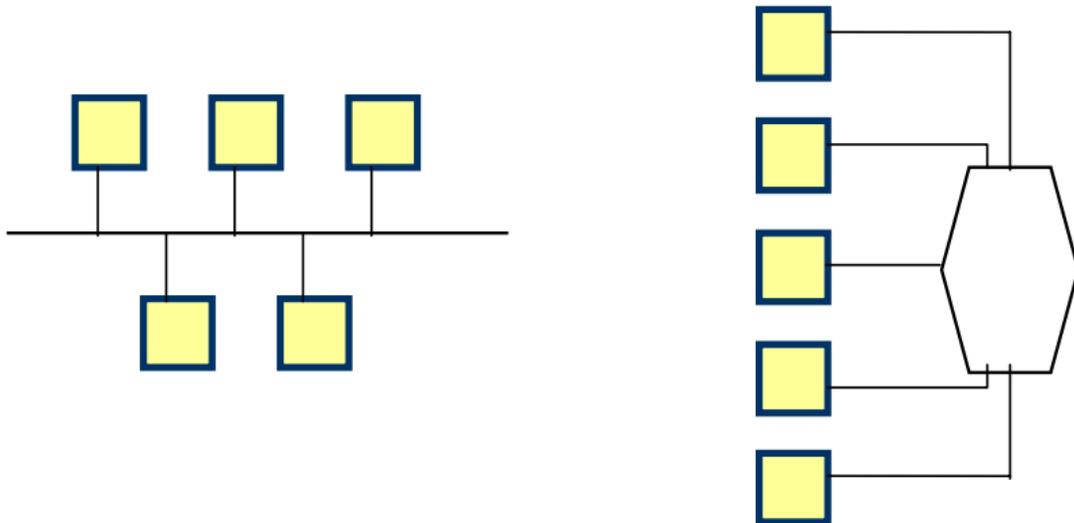


ILUSTRACIÓN 34- LÓGICA TIPO BUS IMPLEMENTADA POR ESTRELLA FÍSICA.

3.1.3. SISTEMAS DE TRANSMISIÓN.

3.1.3.1. MULTIPLEXACIÓN.

La multiplexación es la combinación de dos o más canales de información en un solo medio de transmisión usando un dispositivo llamado multiplexor. El proceso inverso se conoce como demultiplexación, tal como se muestra en la ilustración 36. Su objetivo es minimizar la cantidad de líneas físicas requeridas y maximizar el uso del ancho de banda de los medios.



ILUSTRACIÓN 35- ESQUEMA DE LA MULTIPLEXACIÓN.

Algunas técnicas básicas de multiplexación son las siguientes:

- **Multiplexación por División de Frecuencias FDM:**

Consiste en asignar una banda de frecuencias a cada canal durante todo el tiempo, se utiliza principalmente en transmisión de señales analógicas. En la ilustración 37 se observa un esquema del FDM.

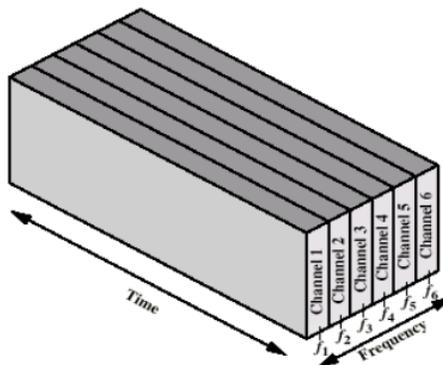


ILUSTRACIÓN 36- ESQUEMA FDM

- **Multiplexación por División de Tiempo TDM:**

Consiste en la asignación periódica de todo el ancho de banda a una comunicación o usuario por un tiempo limitado, se utiliza principalmente en la transmisión de señales digitales. Para su uso se requieren bits adicionales de control y sincronización. En la ilustración 38 se observa un esquema básico de la multiplexación por división de tiempo.

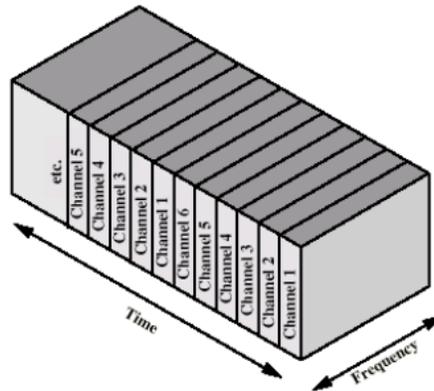


ILUSTRACIÓN 37- ESQUEMA TDM

- **Multiplexación por División Estadística de Tiempo:**

Consiste en reservar dinámicamente los Time Slots, de acuerdo a la demanda, evitando que se envíen Time Slots vacíos. Esta técnica permite brindar servicio a mayor cantidad de dispositivos que TDM sincrónica, los mensajes también requieren información de control.

3.1.3.2. SONET (Synchronous Optical NETWORK)/SDH (Synchronous Digital Hierarchy).

Los altos anchos de banda que proporciona la fibra óptica son adecuados para las tecnologías de alta velocidad de datos y para acarrear un extenso número de tecnologías de bajo velocidad al mismo tiempo. La importancia de la fibra óptica crece en conjunto con el desarrollo de tecnologías que requieren alta tasa de datos o amplios anchos de banda para transmisión. Con su prominencia vino una necesidad de estandarización. Los Estados Unidos (ANSI) y Europa (ITU-T) son los responsables de definir los estándares que, pensados independientemente, son fundamentalmente similares y compatibles. El estándar de ANSI es el SONET mientras que para ITU-T es SDH.

SONET/SDH es una red síncrona que utiliza multiplexaje por división de tiempo (TDM), todos los relojes del sistema están bloqueados por un reloj maestro.

3.1.3.2.1. SEÑALES.

SONET define una jerarquía de niveles de señalización eléctricos llamado señales de transporte síncrono (STS-N). Cada nivel de STS soporta cierta velocidad de datos, especificada en Mega bits por segundo. Las señales ópticas correspondientes son llamados portadores ópticos (OC). SDH especifica un sistema similar llamado Modulo de Transporte Síncrono (STM-N). STM está destinado a ser compatible con las existentes jerarquías europeas, tales como líneas E y con niveles STS. Para este fin, el nivel más bajo STM, STM-1, se define como 155.520 Mbps, que es exactamente igual a STS-3. En la tabla 6 se muestran las velocidades de SDH y SONET.

<i>STS</i>	<i>OC</i>	<i>Rate (Mbps)</i>	<i>STM</i>
STS-1	OC-1	51.840	
STS-3	OC-3	155.520	STM-1
STS-9	OC-9	466.560	STM-3
STS-12	OC-12	622.080	STM-4
STS-18	OC-18	933.120	STM-6
STS-24	OC-24	1244.160	STM-8
STS-36	OC-36	1866.230	STM-12
STS-48	OC-48	2488.320	STM-16
STS-96	OC-96	4976.640	STM-32
STS-192	OC-192	9953.280	STM-64

TABLA 6- JERARQUÍA SONET/SDH

3.1.3.2.2. DISPOSITIVOS SONET.

La ilustración muestra un enlace simple usando dispositivos SONET, la transmisión depende de tres dispositivos básicos: multiplexores/demultiplexores STS, regeneradores, multiplexor de agregación/extracción y terminales.

Mux/Demux STS.

Estos multiplexores marcan en inicio y el final de los enlaces. Estos proveen la interface entre la red eléctrica y la red óptica, un multiplexor STS multiplexa señales de múltiples fuentes eléctricas y crea su correspondiente en portadores ópticos (OC), el demultiplexor realiza el proceso inverso, convierte de señales OC a su correspondiente en señales eléctricas.

Regenerador.

Los regeneradores extienden la longitud del enlace, funcionan como repetidor. Los regeneradores toman una señal óptica (OC-n), la demodula hacia su correspondiente eléctrico (STS-n) regenerando la señal eléctrica y por último se modula la señal eléctrica hacia su correspondiente señal OC-n. El regenerador SONET reemplaza alguno de los encabezados existentes con nueva información.

Multiplexores de Add/Drop (ADM).

Estos multiplexores permiten la inserción y extracción de señales. En un ADM se pueden agregar STS's de diferentes fuentes en una ruta deseada o poder quitar una señal deseada de una ruta y redirigirla sin demultiplexar la totalidad de la señal. En lugar de confiar en las posiciones de bits y sincronización, un ADM utiliza encabezados de información tales como direcciones y punteros para identificar flujos individuales.

En la configuración simple mostrada en la ilustración, un número entrante de señales electrónicas alimentan al multiplexor STS, donde son combinadas en una sola señal óptica, esta es transmitida hacia el regenerador, donde se vuelve a crear sin el ruido que se ha recogido durante el transporte. Las señales regeneradas se introducen a un ADM, reorganizándolas si es necesario y las envía según las indicaciones de la información en las tramas de datos. Estas señales re multiplexadas son enviadas a otro regenerador y de allí las recibe el multiplexor STS donde son devueltos a un formato utilizable por el receptor enlaces.

Terminales.

Un terminal es un dispositivo que utiliza los servicios de una red SONET. Por ejemplo, en el Internet, un terminal puede ser un Router que necesita enviar paquetes a otro enrutador en otro lado de una red SONET.

Conexiones.

Los dispositivos definidos en la sección anterior son conectados usando secciones, líneas y rutas.

Secciones.

Una sección es el enlace óptico que conecta a dos dispositivos vecinos: multiplexor a multiplexor, multiplexor a regenerador o regenerador a regenerador.

Líneas.

Una línea es una porción de red entre dos multiplexores: multiplexor STS a ADM, dos ADM o dos multiplexores STS.

Rutas.

Una ruta es la porción de extremo a extremo de la red entre dos multiplexores de STS.

En la ilustración 39 se muestra una red SONET punto a punto.

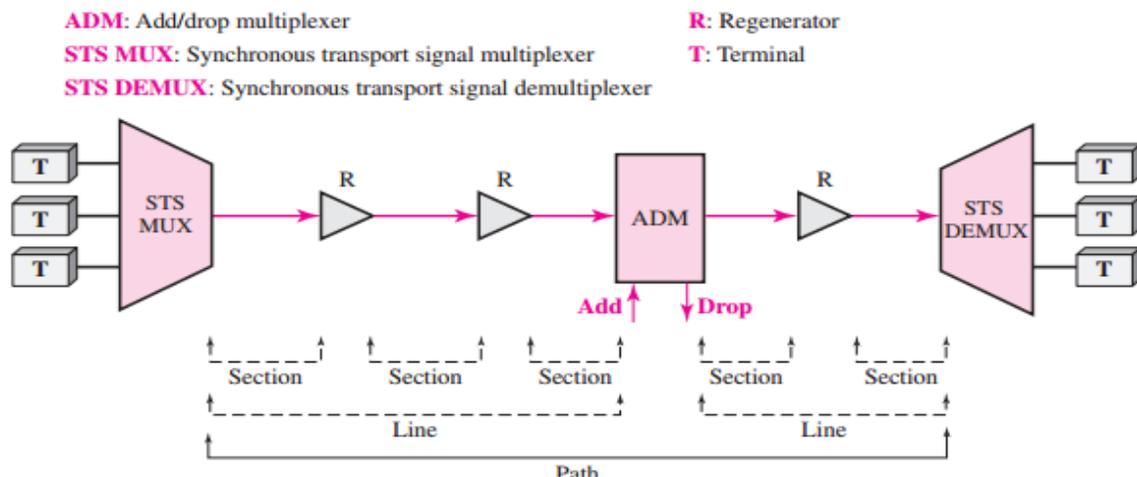


ILUSTRACIÓN 38- RED SIMPLE UTILIZANDO EQUIPAMIENTO SONET

3.1.3.2.3. TRAMAS SONET.

Cada señal de transferencia síncrona STS- n está compuesta por 8000 tramas, cada una de estas es una matriz de dos dimensiones de bytes con 9 filas por $90n$ columnas. Por ejemplo, una trama STS-1 es de 9 filas por 90 columnas (810 bytes), y un STS-3 es de 9 filas por 270 columnas (2430 bytes). La ilustración 40 muestra el formato general de un STS-1 y un STS- n .

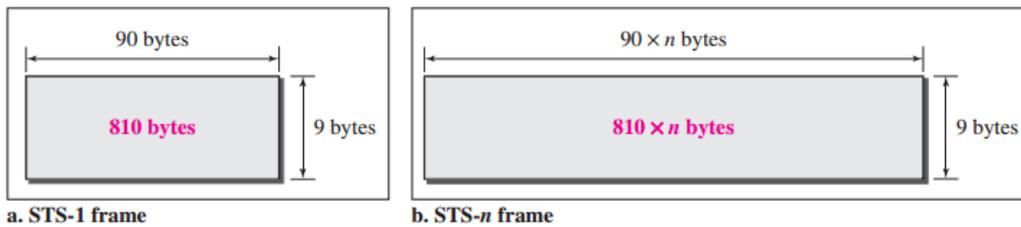


ILUSTRACIÓN 39- TRAMA STS-N Y STS-1

3.1.3.2.4. MULTIPLEXACIÓN STS.

En SONET, las tramas de menor velocidad pueden ser multiplexadas síncronamente mediante división de tiempo en tramas de alta velocidad. Por ejemplo tres señales (canales) STS-1 pueden ser combinados en una señal STS-3, cuatro STS-3 pueden ser multiplexadas en un STS-12, tal como lo muestra la ilustración 41.

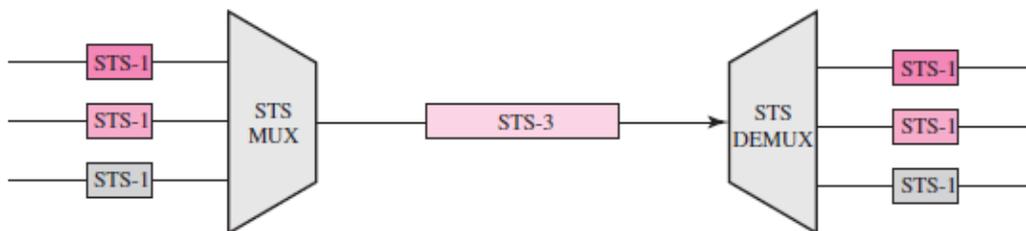


ILUSTRACIÓN 40- MUX/DEMUX STS

3.1.3.2.5. REDES SONET.

Podemos dividir las redes SONET en 3 categorías: lineal, anillo y redes tipo malla, como se muestra en el diagrama 2.

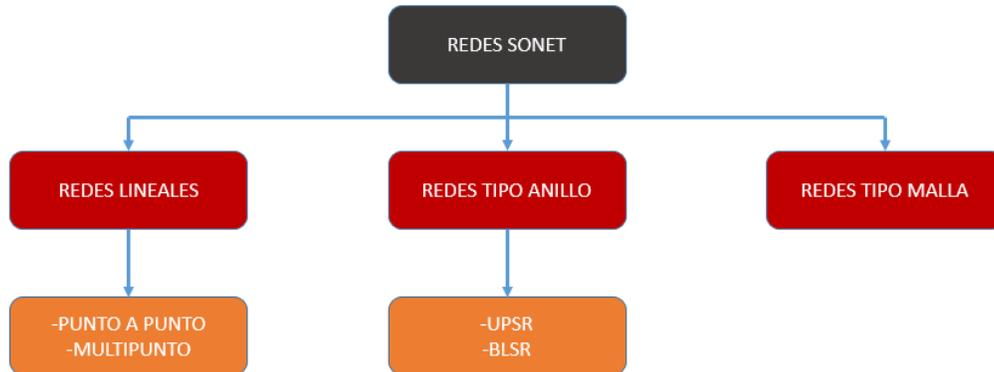


DIAGRAMA 2- TIPOS DE REDES SONET

3.1.3.2.5.1. REDES LINEALES.

Las redes lineales SONET pueden ser punto a punto o multipunto.

Redes punto a punto.

Están hechas de un multiplexor y demultiplexor STS y cero o más regeneradores, la red no cuenta con multiplexores de adición/extracción ADM, tal y como se muestra en la ilustración 42. El flujo de señal puede ser direccional o bidireccional aunque en la ilustración solo se muestra un solo sentido por simplicidad.

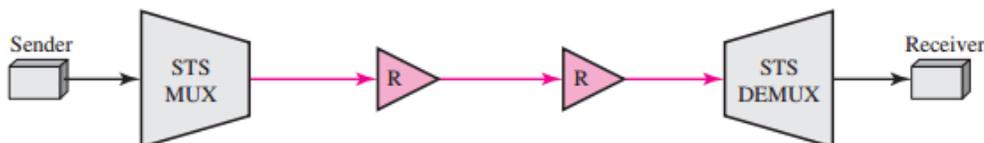


ILUSTRACIÓN 41-RED SONET PUNTO A PUNTO

Redes multipunto.

Una red multipunto utiliza ADM's para permitir las comunicaciones entre varias terminales. Un ADM puede quitar la señal perteneciente a la terminal conectada y agregar la señal transmitida de otra terminal, cada terminal puede enviar datos a uno o más terminales. La ilustración 43 muestra un esquema unidireccional en el que cada terminal puede enviar datos únicamente a las terminales donde el flujo se lo permita, aunque una red multipunto puede ser también bidireccional.

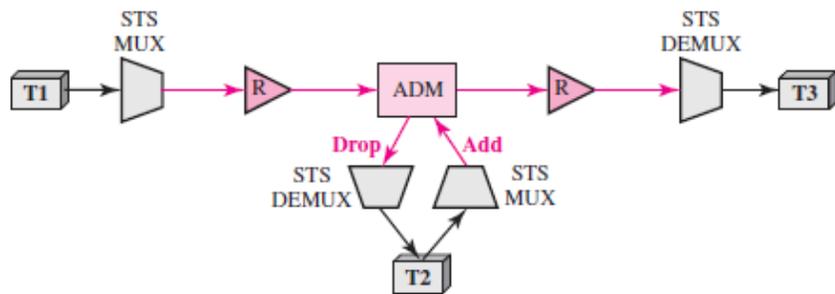
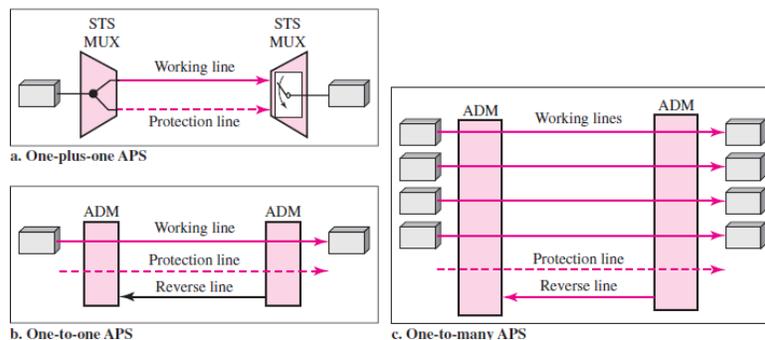


ILUSTRACIÓN 42- RED MULTIPUNTO

Conmutación de Protección Automática (APS).

La Conmutación de Protección Automática esta creada para brindar protección en caso de fallas en redes lineales. Las APS están definidas en la capa de línea, que significa protección entre dos ADM o un par de MUX/DEMUX STS.

La idea es brindar redundancia; una línea de fibra redundante puede ser usada en caso de falla de la línea principal, esta se conoce como la línea de trabajo y la línea redundante como la línea de protección. Tres esquemas son comunes para protección en canales lineales: one-plus-one, one-to-one, one-to-many, estos esquemas se pueden observar en la ilustración 44.



One-plus-one: En este esquema, existen dos líneas: una de trabajo y una de protección. Ambas líneas están activas al mismo tiempo dado que el multiplexor,

ILUSTRACIÓN 43- PROTECCIÓN AUTOMÁTICA EN REDES LINEALES.

manda los mismos datos en ambas líneas, el demultiplexor al otro extremo de la red, monitorea la línea y escoge la que tenga mejor calidad, si una de las líneas falla o la señal se pierde, la otra línea es seleccionada por el receptor. Aunque la recuperación de errores en este esquema es instantánea, el esquema es ineficiente debido a que se utiliza el doble del ancho de banda requerido.

One-to-one: Este esquema es muy parecido al one-plus-one, debido a que también cuenta con una línea de trabajo y una de protección, sin embargo los datos son enviados normalmente en la línea de trabajo hasta que esta falla, en este momento el receptor usa el canal de reversa e informa al transmisor de usar la línea de protección. Obviamente la recuperación de errores es más lenta que en un esquema one-plus-one pero es más eficiente.

One-to-many: Este esquema es similar al one-to-one excepto que solo existe una línea de protección para muchas de trabajo, cuando una falla ocurre en una de las líneas de trabajo, la línea de protección toma el control hasta que la línea fallada es reparada. Este esquema no es muy seguro como el one-to-one porque si más de una línea de trabajo falla al mismo tiempo, la línea de protección solo puede reemplazar a una de ellas.

3.1.3.2.5.2. REDES EN ANILLO.

Los ADM hacen posible que SONET tenga redes en anillo. Los anillos pueden ser utilizados ya sea de manera direccional o bidireccional, en cada caso se pueden agregar anillos extras para hacer a la red auto recuperable ante fallas en la línea.

Anillo de Conmutación de Trayectoria Unidireccional (UPSR).

Un UPSR por sus siglas en inglés (Unidirectional Path Switching Ring) es una red unidireccional con dos anillos, uno usado como anillo de trabajo y el otro como de protección, la idea es muy similar al esquema one-plus-one, la misma señal fluye a través de ambos anillos, en uno de ellos los datos fluyen en el sentido de las manecillas del reloj y el otro en sentido anti horario.

Un nodo recibe dos copias de las señales eléctricas en la capa de trayectoria, las compara y escoge la de mejor calidad, si parte del anillo entre dos multiplexores ADM falla, el otro anillo sigue garantizando el flujo de datos. En la ilustración 45 se muestra el esquema de un anillo unidireccional.

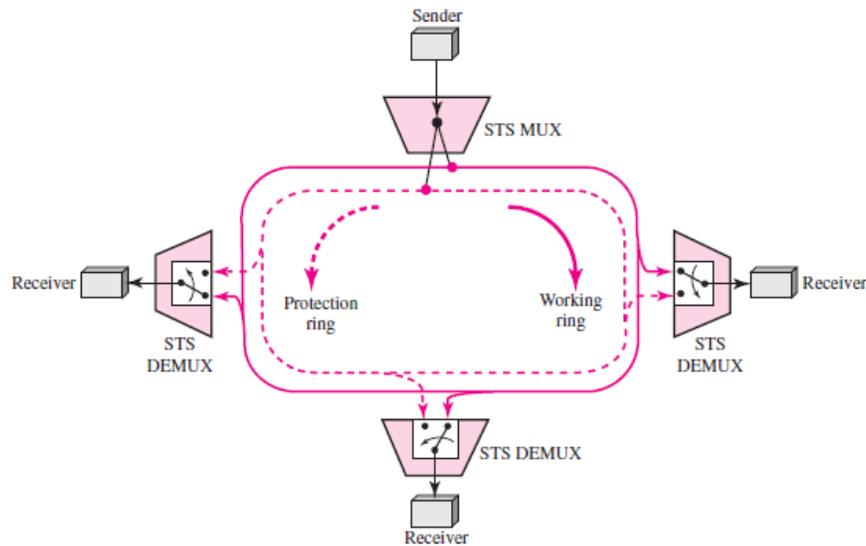


ILUSTRACIÓN 44- ANILLO DE CONMUTACIÓN DE TRAYECTORIA UNIDIRECCIONAL.

Anillo de Conmutación de Línea Bidireccional (BLSR).

En este caso la comunicación es bidireccional, lo que significa que se necesitan dos anillos para líneas de trabajo y del mismo modo para las líneas de protección, por lo que un BLSR utiliza 4 anillos. La operación de esta red es similar al esquema one-to-one, si un anillo de trabajo en una dirección entre dos nodos falla, el nodo receptor puede utilizar el anillo de reversa para informar al nodo superior la dirección de la falla y utilizar el anillo redundante. En la ilustración 46 se observa un BLSR.

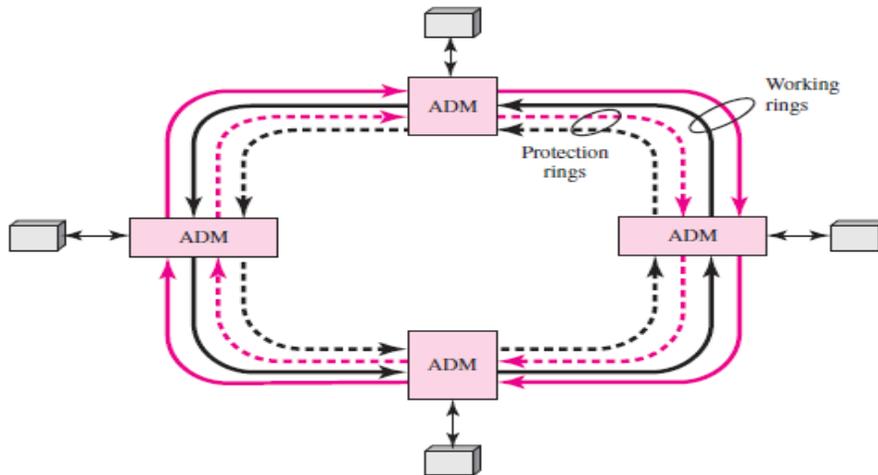


ILUSTRACIÓN 45-ANILLO DE CONMUTACIÓN DE LÍNEA BIDIRECCIONAL

Combinación de anillos.

Las redes SONET en la actualidad utilizan la combinación e interconexión de anillos para dar servicios en una zona amplia. Por ejemplo, una red SONET puede tener un anillo regional, muchos anillos locales, estos pueden ser UPSR, BLSR o la combinación de ambos. En la ilustración 47 se muestra un esquema de combinación de anillos.

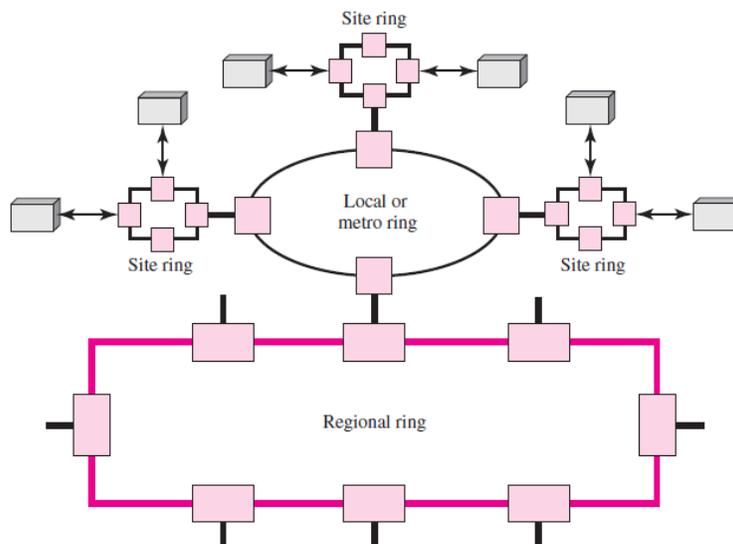


ILUSTRACIÓN 46- COMBINACIÓN DE ANILLOS.

3.1.3.2.5.3. REDES TIPO MALLA.

Un problema en las redes tipo anillo es la falta de escalabilidad, cuando el tráfico en el anillo incrementa, se necesita actualizar no solo las líneas sino también los ADM. En esta situación una red tipo malla con conmutadores otorga un mejor desempeño. Un conmutador en una red tipo malla es llamado cross-connect, este es como cualquier conmutador, tiene puertos de entrada y salida. En un puerto de entrada se toma la señal OC-n, la cambia a una señal STS-n, la demultiplexa en señales STS-1, y envía cada una de estas señales a un puerto de salida apropiado. En la ilustración 48 se muestra un esquema de las redes tipo malla.

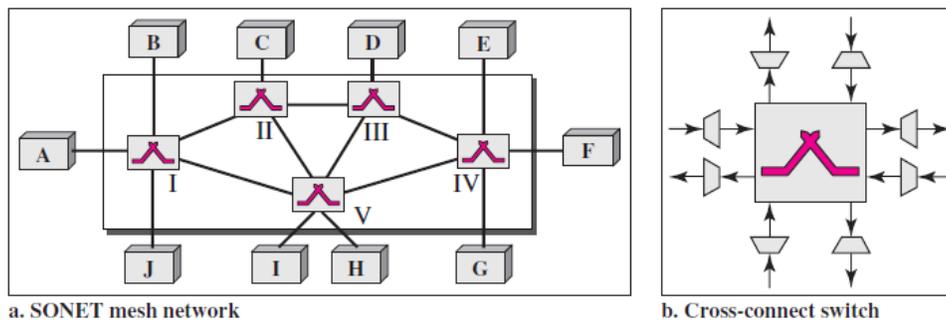


ILUSTRACIÓN 47- RED SONET TIPO MALLA

3.1.3.3. SISTEMAS DWDM.

DWDM significa multiplexación por división en longitudes de ondas densas, esto apunta a una técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica usando la banda C (1550 nm), se encarga de transportar múltiples señales de luz en un solo cable, utilizando portadoras ópticas de diferente longitud de onda, usando luz procedente de un láser o un LED. Esta técnica de multiplexación es una forma de FDM (Multiplexación por División en Frecuencia).

DWDM puede transmitir una gran cantidad de servicios simultáneamente como por ejemplo, voz, video y multimedia. Los Formatos en los cuales trabajan pueden ser Synchronous Optical Network(SONET), Synchronous Digital Hierarchy (SDH), Asynchronous Transfer Mode (ATM), Internet Protocol (IP), Packet Over SONET/SDH (PoS) o Gigabit Ethernet (GigE), 10 Gigabit Ethernet (10GigE), etc.

La multiplexación por división en longitud de onda, multiplexación óptica o WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) tiene su origen, en la posibilidad de acoplar la salida de diferentes fuentes emisoras de luz, cada una a una longitud de onda o frecuencia óptica diferente, sobre una misma fibra óptica. Después de la transmisión a través de la fibra, cada una de estas señales o canales ópticos en distintas longitudes de onda, pueden ser separadas entre sí hacia diferentes detectores en su extremo final. El componente encargado de inyectar las distintas fuentes sobre la misma fibra óptica es el multiplexor, el de separarlas es el demultiplexor, y el de adaptar las longitudes de onda recibidas a una longitud de onda estandarizada, estabilizada y susceptible de ser multiplexada y demultiplexada, es el transpondedor. En la ilustración 49 se aprecia un esquema del sistema WDM.



ILUSTRACIÓN 48- ESQUEMA WDM

Dentro de la familia WDM existen dos sistemas: DWDM y CWDM

CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing), que significa Multiplexación por división en longitudes de onda ligeras, se utilizó a principios de los años 80 para transportar señal de video (Se basa en una rejilla o separación de longitudes de onda de 20 nm (o 2.500 GHz) en el rango de 1.270 a 1.610 nm; pudiendo así transportar hasta 18 longitudes de onda en una única fibra óptica monomodo. De acuerdo con esto, se tienen dos importantes características inherentes a los sistemas CWDM que permiten emplear componentes ópticos más sencillos y, por lo tanto, también más baratos que en los sistemas DWDM.

3.1.3.3.1. REDES DWDM.

Aplicando el modelo OSI en DWDM, este trabaja a nivel de la capa Física, es decir que, permite el intercambio de las unidades básicas de información (bits) sobre canales de transmisión, además es importante señalar que la capa 1 define las conexiones mecánicas requeridas para la activación, mantención o desarticulación.

Las topologías más usadas en el mercado son la tecnología punto a punto y anillo. Con los enlaces punto a punto sobre DWDM entre empresas grandes a gran distancia, solo se necesita un dispositivo en el cliente para convertir el tráfico aplicado a longitudes de onda específicas y multiplexarlas.

3.1.3.3.1.1. TOPOLOGÍA PUNTO A PUNTO.

Las topologías punto a punto pueden llevarse a cabo con o sin OADM (Optical Add-Drop Multiplexer) tal y como se muestra en la ilustración 50. Estas redes son caracterizadas por canales de velocidades extremadamente altas (10 a 40 Gbps), alta integridad y fiabilidad de la señal, y una restauración rápida del enlace en caso de falla. En las redes de larga distancia, la distancia entre el transmisor y receptor puede ser varios cientos de kilómetros, y el número de amplificadores requeridos entre puntos finales esta típicamente menor a 10. En redes MAN, no se necesitan a menudo los amplificadores.

En los equipos, la redundancia está a nivel de sistema. Los enlaces paralelos conectan sistemas redundantes a cualquier punto final. En la redundancia a nivel de tarjeta, los enlaces paralelos conectan sistemas a cualquier punto final que contienen transpondedores redundantes y multiplexores.

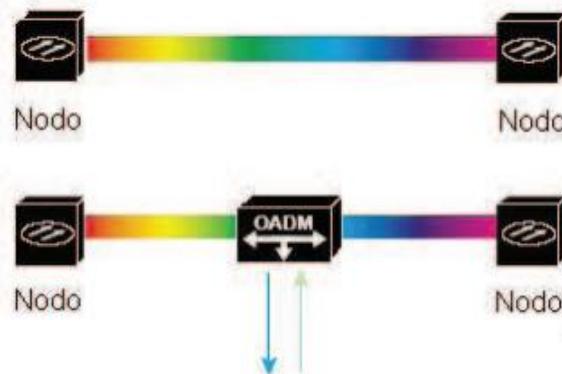


ILUSTRACIÓN 49- TOPOLOGÍA PUNTO A PUNTO.

3.1.3.3.1.2. ANILLO.

TOPOLOGÍA EN

Los anillos son la arquitectura más común encontrada en áreas metropolitanas y permiten empalmar de una longitud de decenas de kilómetros. El anillo de fibra podría contener cuatro canales con sus longitudes de onda correspondientes, y típicamente menos nodos que canales. La velocidad binaria del tráfico está entre 622 Mbps a 10 Gbps por canal. En los nodos OADM, se seleccionan longitudes de onda, se extraen y agregan, mientras que las otras pasan transparentemente. De esta manera las arquitecturas en anillo permiten a los nodos proporcionar el acceso para conectar a elementos de red como los enrutadores, switches, o servidores, agregando y extrayendo canales de longitud de onda en el dominio óptico. En la ilustración 51 se muestra un esquema de las redes DWDM en anillo.

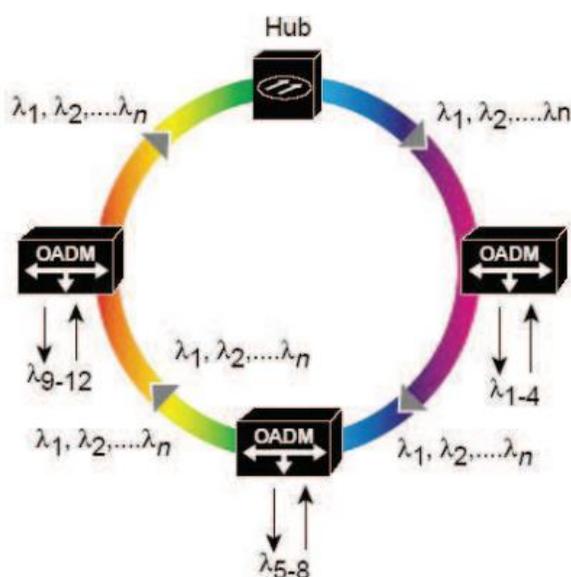


ILUSTRACIÓN 50- TOPOLOGÍA DWDM EN ANILLO.

3.1.3.3.1.3. TOPOLOGÍA TIPO MALLA.

Las redes DWDM en malla, consiste en interconectar todos los nodos ópticos. Este tipo de conexión de nodos requerirá protección, donde los esquemas de protecciones anteriores contaron con la redundancia al sistema, tarjeta o nivel de fibra. La redundancia en una arquitectura tipo malla emigrara a tener redundancia por longitud de onda, esto significa que una longitud de onda podría cambiar a otra a través de la red, debido a un enrutador óptico en el caso de presentarse una falla en la longitud de onda.

En la ilustración 52 se muestra un esquema en malla, punto a punto y en anillo.

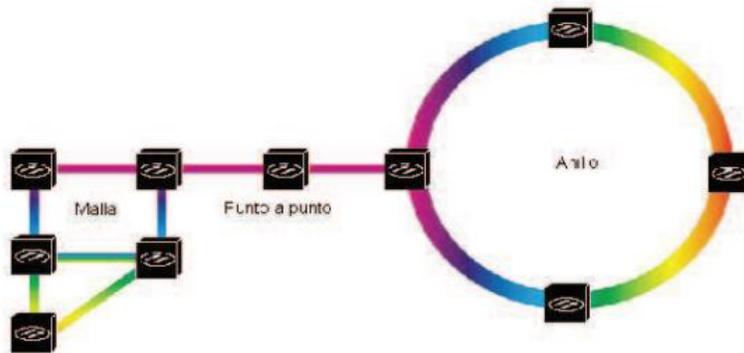


ILUSTRACIÓN 51- COMBINACIÓN DE TOPOLOGÍAS.

3.1.3.3.2. DISPOSITIVOS DWDM.

Básicamente los elementos con los que nos podemos encontrar son los siguientes: OTM (Optical Terminal Multiplexer), OLA (Optical Line Amplifier) y OADM (Optical Add and Drop Multiplexer).

OTM (Optical Terminal Multiplexer).

Multiplexa en transmisión y demultiplexa en recepción la totalidad de los canales ópticos del enlace instalados hasta el momento. El componente encargado de inyectar las distintas fuentes sobre la misma fibra óptica es el multiplexor, el de separarlas es el demultiplexor, el de regenerarlas a nivel óptico es el amplificador y el de adaptar las longitudes de onda recibidas a una longitud de onda estandarizada, estabilizada y susceptible de ser multiplexada y demultiplexada es el transpondedor.

OLA (Optical Line Amplifier).

Amplifica la señal DWDM conjunta en el dominio óptico (sin ningún tipo de regeneración eléctrica de cada uno de los canales individuales) para su transporte a largas distancias. Los amplificadores tradicionalmente empleados en sistemas DWDM de larga distancia son los amplificadores de fibra dopada con Erblio o **EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier)**. El Erblio es un elemento, perteneciente a las denominadas “tierras raras”, que cuando es excitado genera luz en el entorno de la tercera ventana de comunicaciones ópticas. En un EDFA la señal generada a 980 o 1.480 nm por un láser de bombeo entra junto a la señal a amplificar, en una fibra dopada con Erblio. Esta luz inyectada estimula a los átomos de Erblio, produciendo la emisión de luz a 1550 nm; de modo que mientras este proceso continúa a lo largo de la fibra, la señal de entrada al EDFA se vuelve más fuerte. Las emisiones espontáneas en el EDFA también añaden ruido a la señal y de trabajar en puntos de ganancia inadecuados pueden producirse también no linealidades o interferencias entre los distintos canales.

OADM (Optical Add and Drop Multiplexer).

Extrae información de un determinado canal óptico, e inserta nueva información reutilizando dicho canal, sin alterar el resto de canales multiplexados y sin ningún tipo de conversión electro-óptica. Tradicionalmente estos equipos no permitían reconfigurar remotamente vía software que canales extraer o añadir o dejar en paso; no obstante, los avances en filtros ópticos y transpondedores reconfigurables han subsanado esta limitación de DWDM.

En la ilustración 52 se muestra un esquema de un enlace DWDM completo.

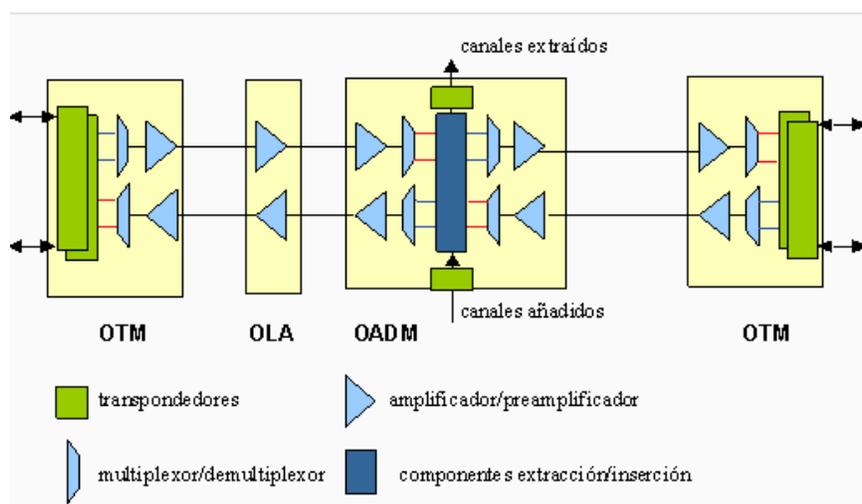


ILUSTRACIÓN 52- ESQUEMA DE UN ENLACE DWDM

3.1.3.4. MPLS-TP (Multi Protocol Label Switching Transport Profile).

3.1.3.4.1. ANTECEDENTES DE MPLS

Las técnicas y tecnologías más representativas relacionadas con la conmutación de paquetes ópticos, en particular se centra en tres aspectos fundamentales: la descripción del transporte y encaminamiento de paquetes IP, en donde se destaca la forma en que el plano de control y la transmisión de los paquetes en la red basado en el paradigma de intercambio de etiquetas de MPLS (MultiProtocol Label Switching) se ha generalizado a fin de obtener una señalización extremo a extremo que permita la conmutación de paquetes en el dominio óptico.

Aunque ésta es una primera aproximación para obtener IP/WDM en las redes de datos de hoy en día, la técnica de encaminamiento de etiquetas todo-ópticas ha surgido de forma paralela e independiente en la cual se adopta la esencia de las etiquetas de MPLS para implementar esquemas de encaminamiento directamente en el dominio óptico.

En la segunda mitad de la década de los 90, las redes de datos experimentaron progresos significativos en la simplificación de protocolos y en la adición de un extenso conjunto de capacidades basadas en un conjunto de conceptos comunes que utilizan la técnica de intercambio de etiqueta para el encaminamiento de las unidades de información.

Una etiqueta es un pequeño identificador de longitud fija que se utiliza para encaminar unidades de información o paquetes y que se asigna a cada una de estas unidades o flujo de unidades a la entrada del dominio. Los elementos de red se denominan *nodos de conmutación de etiquetas* los cuales ejecutan protocolos de control IP para determinar la ruta de un paquete basados en algoritmos de encaminamiento y transmisión comúnmente denominados *algoritmos de intercambio de etiqueta* que se basan en reemplazar el valor de la etiqueta en un paquete con un valor nuevo de etiqueta antes de que el paquete sea enviado al siguiente nodo de la red.

En 1997, el IETF (*Internet Engineering Task Force*) oficialmente estableció un estándar en esta área y adoptó el nombre de MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) cuya principal característica consiste en la separación del plano de control y del plano de datos. Con esta particularidad se define el uso de un sencillo paradigma de encaminamiento basado en el intercambio de etiquetas en el plano de datos para soportar múltiples paradigmas de encaminamiento en el plano de control a través del establecimiento de caminos de etiquetas conmutadas (*Label Switched Path, LSP*) donde las etiquetas sólo tienen significado local en un nodo y no global como ocurre en IP. Otro de los conceptos clave de MPLS es el uso de diferentes tecnologías y mecanismos de capa de enlace tales como los encabezados extra de redes *Ethernet* y *Packet Over Sonet*, el identificador de conexión de enlace de datos en redes *Frame Relay* y los identificadores de camino e identificadores de circuito

en redes *ATM* para realizar el paradigma de encaminamiento basado en el intercambio de etiquetas.

El beneficio más inmediato con la implantación de MPLS fue el desarrollo de técnicas de ingeniería de tráfico ya que en MPLS se establece una conexión virtual entre dos puntos en una red de conmutación de paquetes, introduciendo el concepto de camino en la conmutación de paquetes IP, es decir, en MPLS se establecen las conexiones o caminos de etiquetas conmutadas (LSP) de forma similar a las realizadas en redes orientadas a conexión pero conservando la eficiencia y operación de una red de conmutación de paquetes.

En la ilustración 54 se muestra un diagrama del entorno MPLS.

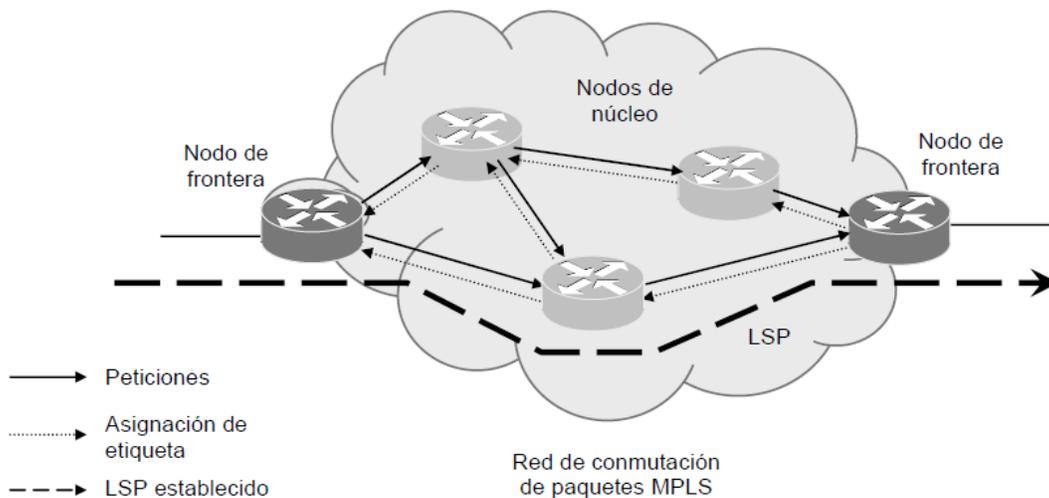


ILUSTRACIÓN 53- ENTORNO DE RED MPLS

Asimismo, otra característica muy valiosa de MPLS es la posibilidad de poder implementar esquemas de ingeniería de tráfico y calidad de servicio basado en la transmisión de paquetes con características similares o idénticas. Para ello se puede agrupar el tráfico en el nodo de frontera al que se quiera dar un tratamiento especial y asignarle la misma etiqueta de entrada a la red. Este conjunto de tráfico recibe el nombre de clase equivalente de envío (*Forwarding Equivalence Class*, FEC).

Previamente se debe haber establecido el camino intermedio entre los nodos de núcleo y los nodos de frontera y con el LSR frontera final garantizando o reservando

los recursos necesarios que se precisen. Una vez dicho camino está establecido mediante la oportuna asignación de etiquetas, ya se dispone del camino con las prestaciones deseadas Como beneficios adicionales de MPLS se puede nombrar la posibilidad de crear redes privadas virtuales, implementación de rutas de protección basadas en un rápido reencaminamiento de los paquetes y multicast.

MPLS opera entre Capa 2 - Capa de enlace de datos y Capa 3 - Red de capa de red OSI modelo (ilustración 55). Fue diseñado para proporcionar un transporte de datos de servicios tanto para el circuito y la conmutación de paquetes basadas en los clientes. Se puede utilizar para llevar a muchos diferentes tipos de tráfico, como los paquetes IP, marcos de Ethernet y ATM.

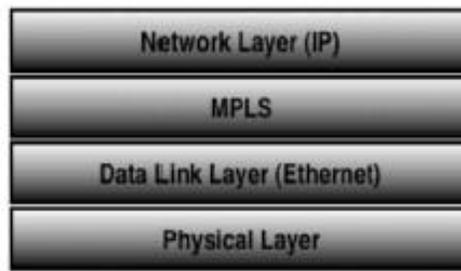


ILUSTRACIÓN 54- CAPA MPLS EN LA PILA OSI

3.1.3.4.2. ¿QUE ES MPLS-TP?

MPLS-TP es un conjunto de protocolos de MPLS que esta definido por la IETF (Internet Engineering Task Force); esta es una version simplificada de MPLS para redes de transporte con algunas funciones removidas de MPLS tales como PHP (Penultimate Hop Popping).

MPLS-TP no requiere de las capacidades de plano de control y permite al plano de gestion configurar los LSP's (Label Switching Path) de manera manual.

El objetivo principal de MPLS-TP es proporcionar conexiones de transporte orientado a paquetes sobre redes ópticas.

Las características de MPLS-TP son las siguientes:

- Es capaz de correr sobre Ethernet, OTN, SDH, SONET

- Proporciona una fuerte capacidad de OAM (Operación, Administración y Mantenimiento) que es una función similar en las redes OTN, con la diferencia que OAM forma parte del plano de datos de MPLS-TP y es independiente del plano de control.
- Esquemas de protección similares a los de las redes ópticas de transporte tradicionales.
- Utiliza una arquitectura de Pseudowire edge to edge (PWE3).
- Plano de control estático o dinámico.
- Es estrictamente una conexión orientada.

3.1.3.4.3. ELEMENTOS MPLS-TP.

Label Switched Path (LSP): Un LSP es un trayecto que está diseñado para el tráfico de datos, ya sea punto a punto o punto a multipunto, los LSP no permiten tráfico multipunto a multipunto o multipunto a punto. Otra característica de los LSP's es que se incluyen funciones de protección 1+1 y 1:1.

Provider Edge Router (PE): Adapta el tráfico del cliente y lo encapsula para ser transportado sobre un LSP.

Pseudowire: Un pseudowire es una emulación de una conexión punto a punto orientada a la conexión sobre una red de conmutación de paquetes.

En la ilustración 56 se aprecia una red MPLS-TP simple.

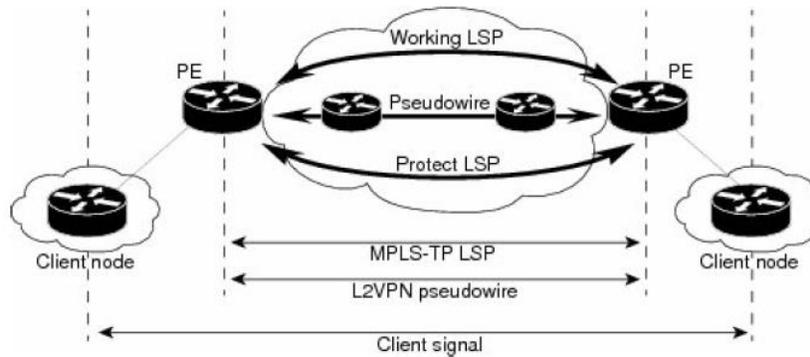


ILUSTRACIÓN 55- ESQUEMA DE UNA RED MPLS-TP SIMPLE

3.1.3.4.4. MPLS-TP OAM.

OAM tiene por significado Operaciones, Administración y Mantenimiento, a continuación se presentan las funciones de cada una:

- Operaciones: Actividades operacionales para mantener la red en funcionamiento.
- Administración: Implica hacer el seguimiento de recursos de la red.
- Mantenimiento: Implica reparaciones y actualizaciones de la red.

Se aplican los conceptos de:

- Rápida detección de fallas.
- Indicación remota de defectos.
- Conmutación automática de protección
- Gestión y señalización de los canales de comunicación.

Los paquetes OAM son acarreados en la misma etiqueta del paquete, este canal se le conoce como Generic Associated Channel (G-Ach).

OAM de MPLS-TP introduce los componentes funcionales: Mantenimiento Punto Final (MEP) y Mantenimiento Punto Intermedio (MIP), que permiten ejecutar paquetes OAM entre dos puntos finales, tales como:

1. Continuity Checks (CC): Estos mensajes permiten la rápida detección de pérdidas de conectividad así como la fallas de configuración. Los mensajes CC se envían periódicamente y son monitoreados por los routers MPLS-TP como se observa en la ilustración 57. Los intervalos de transmisión pueden ser ajustados a un mínimo de 3.3 ms, logrando una rápida detección de fallas en la red.

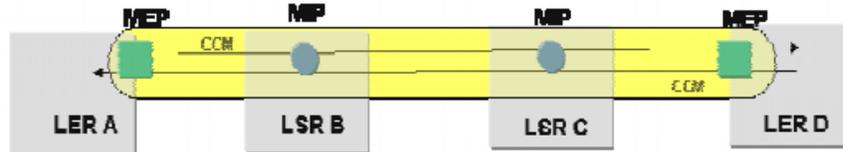


ILUSTRACIÓN 56- FLUJO DE MENSAJES CC

2. Medidas de retardo y perdidas (DM/LM): Permite la detección de degradaciones de desempeño de la red.

3. Mensajes Loopback (LB): Permite la localización de fallas.

4. Supresor de Alarmas: Permite la localización de averías evitando al mismo tiempo la propagación de alarmas innecesarias.

3.1.3.4.5. ENCABEZADO DE ETIQUETAS.

El encabezado de etiqueta tiene una longitud de 32 bits y esta se expande en 4 campos, que son: label (20 bits), experimental bits (3 bits), stack bit (1 bit) y Time To Live (8 bits).

En la ilustración 58 se muestra el encabezado de etiquetas.

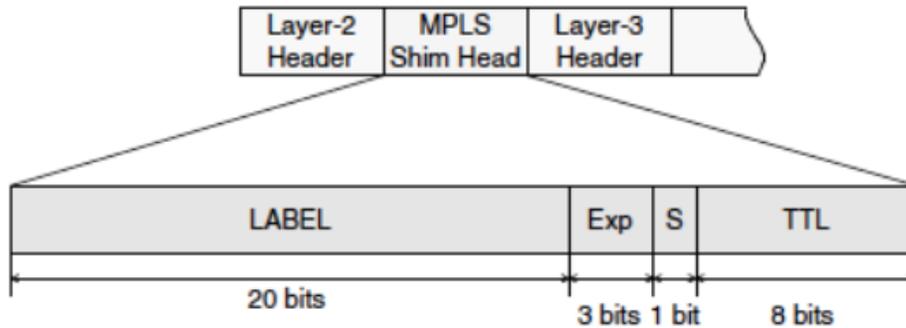
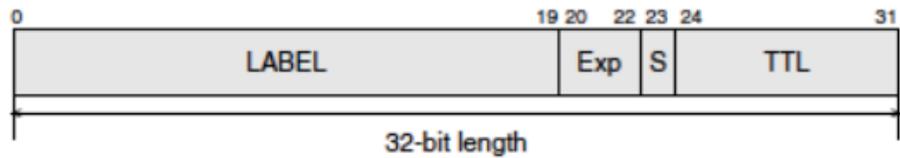


ILUSTRACIÓN 57- ESTRUCTURA LABEL HEADER

La tabla 7, describe más analíticamente los campos que componen la etiqueta de encabezado.

Campos del encabezado	Longitud	Descripción
Bit Stack	1 bit	Este bit es compatible con una pila de etiquetas jerárquica y denota si esta es la última etiqueta en la pila de etiquetas. Se establece en 1 para la última entrada de etiquetas y 0 para todas las demás entradas.
Time To Live (TTL)	8 bits	Este campo proporciona la funcionalidad tradicional del TTL IP dentro de la red MPLS-TP
Experimental Use (xEp)	3 bits	Este campo es usado para definir diferentes clases de servicio
Valor de etiqueta (Label)	20 bits	Este campo define el valor actual de la etiqueta, que típicamente solo tiene significado local y cambian en cada salto.

TABLA 7- DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS QUE COMPONEN UN ENCABEZADO MPLS-TP

3.1.3.5. EQUIPOS.

3.1.3.5.1. OTDR (Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo).

Es un aparato que puede evaluar las propiedades de una fibra o de un enlace completo. En particular puede detectar de forma muy rápida, pérdidas, fallas y la distancia entre sucesos. El OTDR usa las propiedades de dispersión de la fibra para determinar la atenuación total. Un pulso de luz de duración muy corta es lanzado a través de la fibra, y una porción de ese pulso que viaja en dirección a la salida de la fibra, se dispersa y es capturado por la fibra en la dirección inversa.

La traza del OTDR es única para la fibra y los conectores ya que muestra la atenuación en cada punto a lo largo de la fibra. La importancia del OTDR al mostrarnos eventos en las gráficas, es que podemos ver que es y donde está.

Una gran ventaja del OTDR es que la medición se realiza de un solo extremo de la fibra. En las ilustraciones 59 y 60 se muestran algunas trazas con los posibles eventos que ocurren en una fibra.

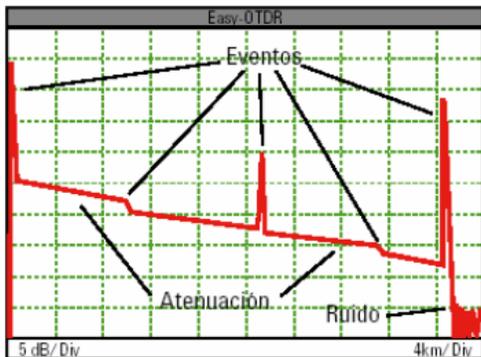


ILUSTRACIÓN 59-TRAZA CON EVENTOS ENTRE DOS PUNTOS.

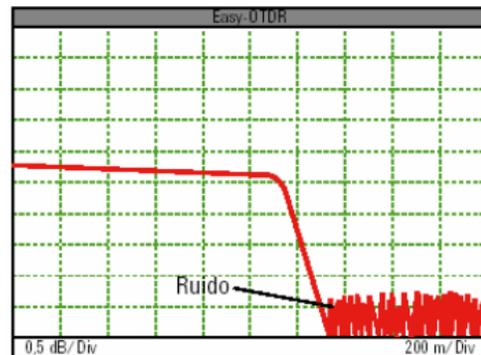


ILUSTRACIÓN 58-RUPTURA DE UNA FIBRA.

El equipo OTDR que posee la Gerencia de Transmisión Tuxtla es uno de la marca EXFO modelo FTB-200, se pueden hacer mediciones en las 3 ventanas de transmisión con un rango de alcance de 120 kilómetros aproximadamente. En la ilustración 61 se muestra el equipo.



ILUSTRACIÓN 60- EXFO FTB-200

3.1.3.5.2. MEDIDOR DE POTENCIA ÓPTICA.

El medidor de potencia óptica, cuenta con una unidad generadora y una medidora, las mediciones deben realizarse en ambos extremos del enlace, un extremo generando el haz de luz con una determinada potencia óptica, y el otro midiendo la potencia de salida.

Se puede usar para medir distintos parámetros importantes en el enlace óptico:

Salida de potencia de radiación absoluta de la fuente.

Esta es una medición importante porque si la potencia de radiación es perceptiblemente menor que el valor de salida indicado en la hoja de datos, el rendimiento del enlace óptico decaerá, e incluso podrá fallar el enlace para transmitir datos.

Pérdidas de potencia de la fibra.

Mide la atenuación de la fibra que depende de la longitud de la fibra y el ángulo de lanzamiento de la luz hacia la fibra.

Pérdidas en conectores y empalmes.

Éstas se pueden evaluar prácticamente comparando la potencia óptica medida dentro y fuera del conector o empalme.

Sensibilidad del receptor.

El foto-detector del receptor de fibra óptica convierte la luz incidente en corriente eléctrica. La medición de la eficacia de esta conversión requiere una medición precisa de la potencia óptica.

El medidor de potencia óptica convierte la luz que llega a la entrada fotosensible en una corriente eléctrica, la cual es proporcional a la potencia de la luz incidente. Luego se convierte al valor de corriente en unidades de dBm, y se muestra en el visor digital.

La ilustración 62 muestra el kit de un medidor de potencia óptica de la marca JDSU, el cual cuenta con un equipo medidor, equipo atenuador y equipo generador.



3.1.3.5.3. EMPALMADORA POR FUSIÓN.

ILUSTRACIÓN 61- KIT MEDIDOR DE POTENCIA ÓPTICA.

Es un dispositivo electrónico que permite el empalme permanente de dos fibras ópticas multimodo por fusión a través de la generación de un arco de alto voltaje entre sus electrodos; lo cual garantiza la obtención la temperatura adecuada para la correcta fusión de la fibras, al permitir el acople de sus extremos; posibilitando así; un óptimo empalme. La empalmadora con la que cuenta el Sector Chicoasén, es una de la marca Fujikura modelo FSM-60S que se muestra en la ilustración 63.



ILUSTRACIÓN 62- KIT DE EMPALMADORA FUJIKURA

3.1.3.5.4. COMUNICADOR POR FÍBRA ÓPTICA.

Es un dispositivo electrónico que brinda 4 herramientas en una, combina un conjunto de comunicación digital full-dúplex, una fuente óptica estable, un generador de tono a 2 kHz y un detector de tono a 2 kHz. Brinda una longitud de comunicación promedio de 130 kilómetros.

Se posee un equipo en el Sector Chicoasén de la marca EXFO modelo VCS-20A, se puede apreciar en la ilustración 64.



ILUSTRACIÓN 63- COMUNICADOR ÓPTICO EXFO VCS-20A

3.1.3.5.5. NODO DE ACCESO NPT-1020.

Este dispositivo es una plataforma de transporte de paquetes de acceso, que optimiza tanto TDM y manejo de paquetes que proporciona una solución híbrida única de alta capacidad anillos de acceso. Se trata de una plataforma de Acceso de Paquetes Ópticos, enriquecida con soporte MPLS-TP. El NPT-1020 está diseñado en torno a una tarjeta matriz híbrida, soporta casi cualquier conectividad, así como la capacidad de conmutación TDM. También ofrece la capacidad de conmutar paquetes a velocidades de hasta 10 a 50 Gbps, así como capacidad TDM de hasta 2.5 Gbps.

La plataforma incluye los siguientes componentes:

- 21 E1's nativos incorporados.
- 2 puertos STM1/STM4
- 8 puertos eléctricos 10/100/1000BaseT
- 4 puertos ópticos 100/1000 FX/GE
- 1 tarjeta de tráfico (Tslot)
- Conector a unidad de expansión.
- Módulo de tiempo.
- Fuente de poder redundante y no redundante.

El NPT-1020 puede ser alimentado con -48 VDC o 94 a 240 VAC y puede soportar temperaturas de hasta 70°C.

En la siguiente ilustración 65 se muestra el equipo NPT-1020.

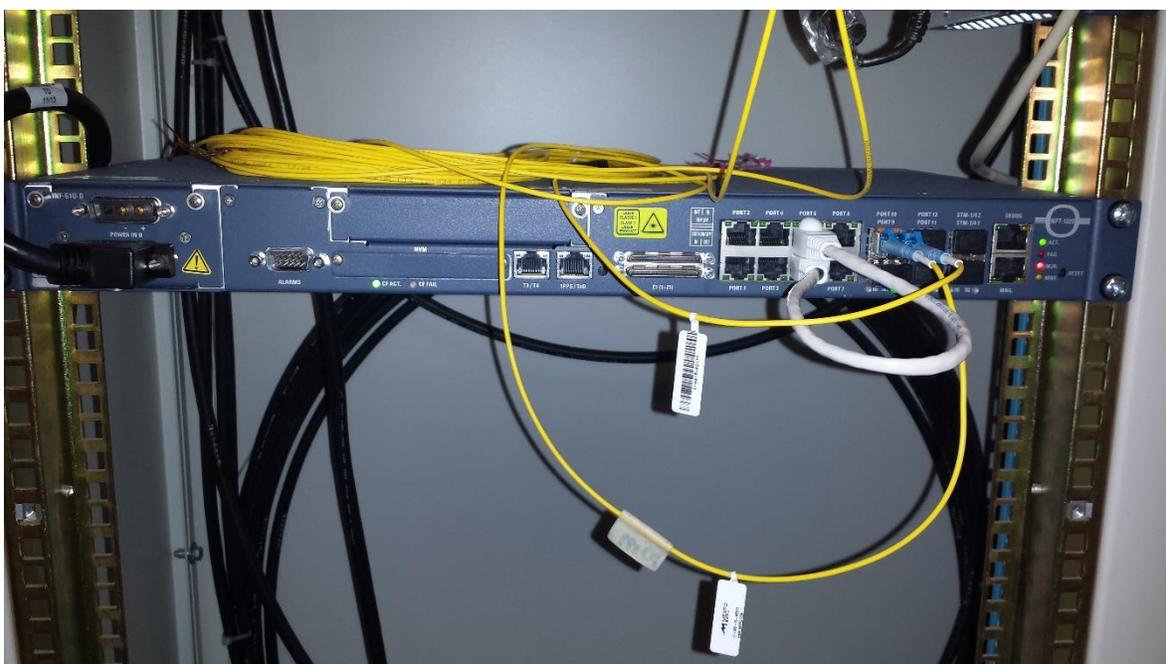


ILUSTRACIÓN 64- NPT-1020

3.1.3.5.6. NODO DE AGREGACIÓN 1200.

Es una plataforma de transporte de paquetes multiservicio convergente optimizado para el acceso de agregación y nodos de acceso de metro.

Como el transporte de paquetes de clase portadora, combina la fiabilidad de la red de transporte y facilidad de gestión con eficiencia de paquetes. La transición de TDM a paquetes es invisible y rentable adquirida a través de la arquitectura All-Native, procesando paquetes y tráfico TDM, soportando también Ethernet/MPLS-TP sobre TDM (Eos/MoT) y TDM sobre Ethernet (CES). La arquitectura All-Native proporciona soporte rentable para combinación de paquetes y tráfico TDM, todo esto preservando la estructura de red existente y procedimientos de trabajo.

El soporte óptico integrado NPT-1200 permite una integración perfecta con las redes ópticas de próxima generación.

El equipo NPT-1200 se observa en la ilustración 66.

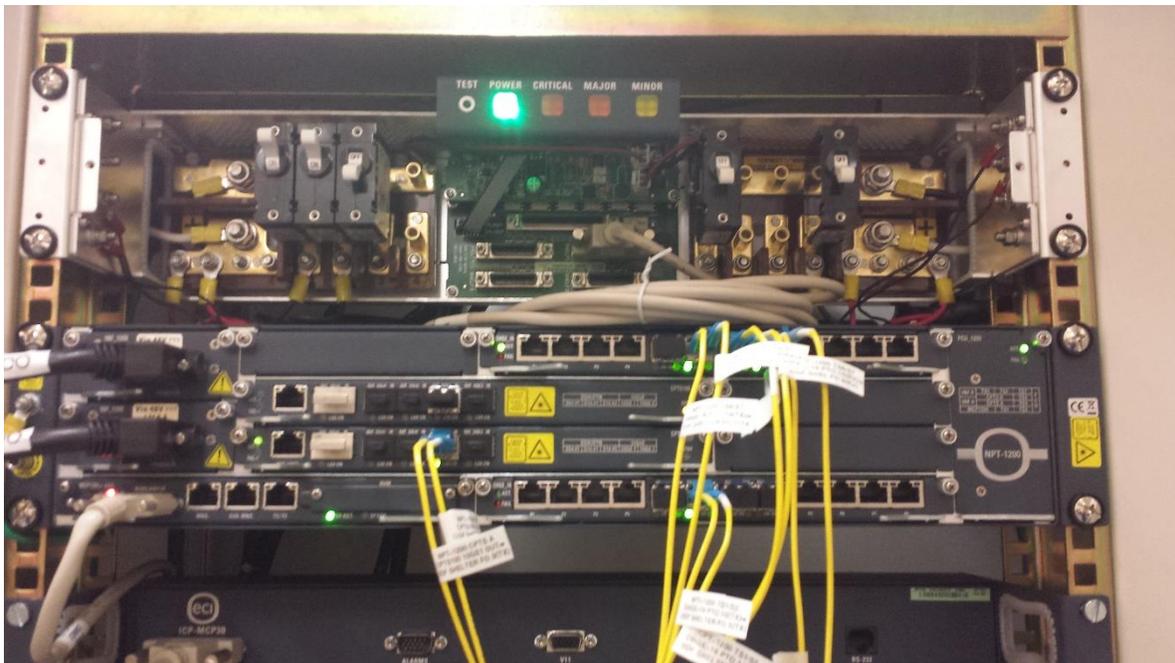


ILUSTRACIÓN 65- NPT-1200

CAPÍTULO IV

4.1. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.

En la tabla 8 se muestra el cronogramas de las actividades que se realizaron durante la residencia profesional.

4.1.1. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

Actividad	Semana															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Documentación y recopilación de información de redes, aplicaciones y servicios utilizados en el ámbito de la Zona de Transmisión Tuxtla.	X	X	X	X												
Elaboración de diagramas de la topología de red y estructuración que se propondrá con esta nueva infraestructura.					X	X										
Elaboración de programas de instalación e implementación de equipamiento e infraestructura.							X	X								
Configuración en equipos administrables con la propuesta de implementación.								X	X							
Pruebas de laboratorio con los equipos de manera aislada y análisis del comportamiento de los servicios.										X	X	X				
Puesta en servicio, pruebas y medición de la calidad de los enlaces implementados.														X	X	X

TABLA 8- CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

4.1.2. APLICACIONES Y SERVICIOS UTILIZADOS EN LA ZONA DE TRANSMISIÓN TUXTLA.

4.1.2.1. NODOS SDH.

La Comisión Federal de Electricidad cuenta con una red nacional de fibra óptica mediante enlaces SDH de distintas capacidades, tal como se observa en la ilustración 67. En la subestación Manuel Moreno Torres se cuenta con 4 enlaces a distintos puntos geográficos: subestación Malpaso II, subestación Juile, Hotel Tuxtla y hacia la SCT en Tuxtla Gutiérrez. Como se aprecia en la ilustración, se cuenta con dos enlaces STM16 (Synchronous Transport Module) y STM64 hacia Juile, Veracruz, a través de la línea de alta tensión A3T90 debido que es la red troncal hacia los centros de control en la región centro del país. Cabe mencionar que algunos de los enlaces SDH se envían a través de nodos DWDM.

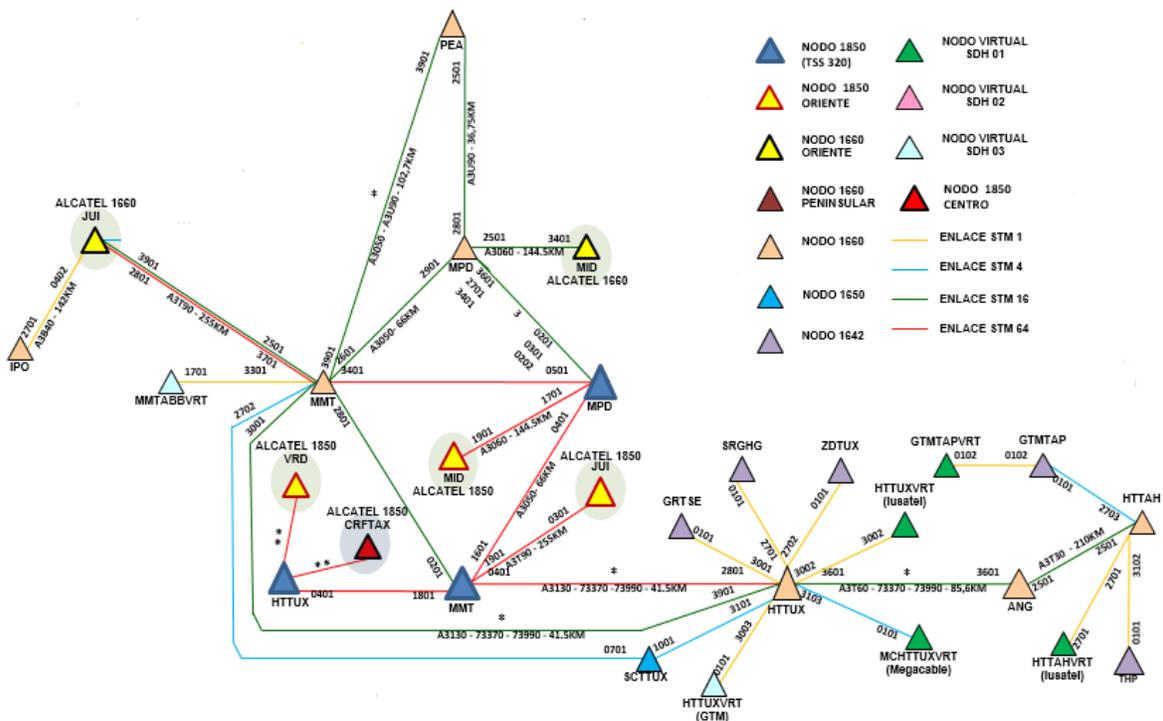


ILUSTRACIÓN 66- RED SDH ZTTUX

4.1.2.2. NODOS DWDM.

La subestación Manuel Moreno Torres forma parte de la red nacional DWDM, la cual cuenta con tres enlaces para diversos servicios de comunicaciones. Como se puede ver en la ilustración 68 se tiene un enlace hacia la subestación Juile en el estado de Veracruz con una longitud del enlace de aproximadamente 257 km, por ser una longitud bastante grande, en este enlace se utilizan amplificadores ópticos dopados con Erbio EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier), llamados “ropa”. Un enlace hacia la subestación Malpaso II (MPD) con 67 Km y por último, un enlace hacia la subestación El Sabino con una longitud de 34 Km en la cual no se tienen equipos de ADD&DROP, solo está como punto de maniobra para el enlace hacia la Hotel Tuxtla, que es donde se encuentran las terminales DWDM de agregación.

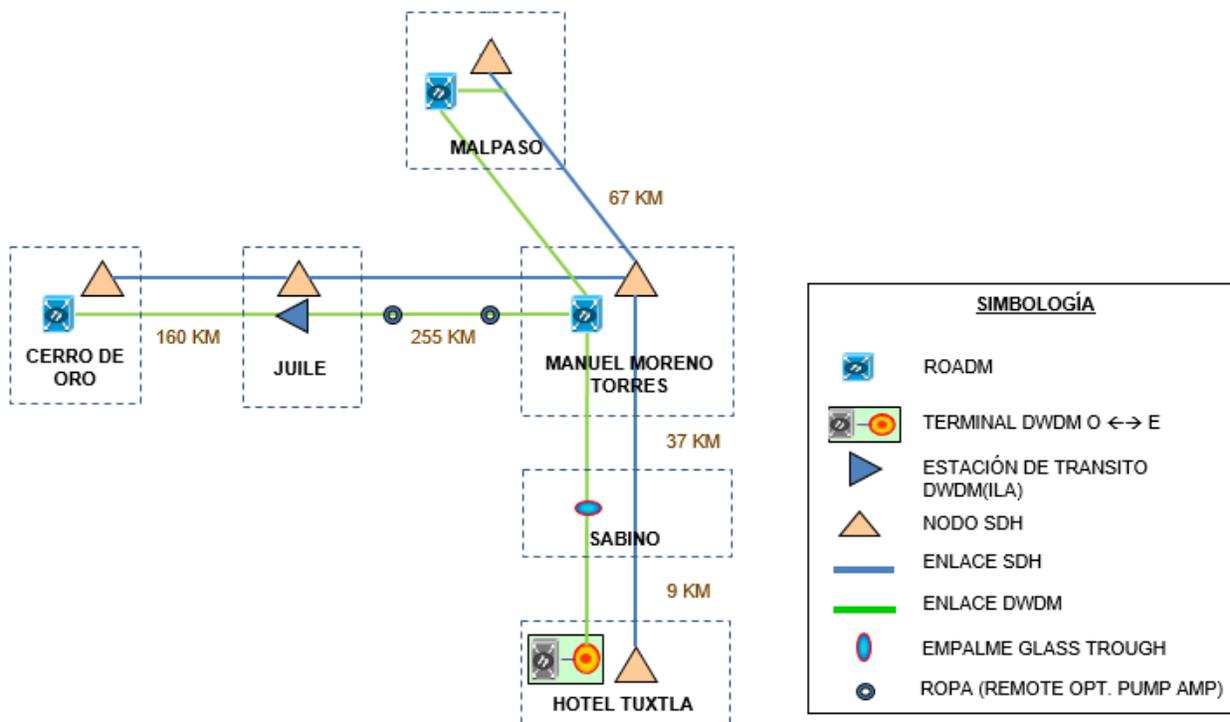


ILUSTRACIÓN 67- DIAGRAMA DWDM ZTTUX

4.1.3. TOPOLOGÍA Y ESTRUCTURACIÓN DE LA RED MPLS-TP.

4.1.3.1. TOPOLOGÍA FÍSICA.

En la Zona de Transmisión Tuxtla que comprende las subestaciones Manuel Moreno Torres, Angostura, El Sabino y la sede que se encuentra en la colonia Plan de Ayala en Tuxtla Gutiérrez únicamente se encuentra enlazada mediante topologías punto a punto, se cuenta con enlaces de 36 y 12 fibras por línea de transmisión. En la ilustración 69 se muestra la topología física con la que contará la red MPLS-TP.



ILUSTRACIÓN 68-TOPOLOGÍA FÍSICA ZTTUX

4.1.3.2. TOPOLOGÍA LÓGICA.

La topología lógica implementada es prácticamente punto a punto con un pequeño anillo con la Zona de Distribución Tuxtla (ZD) como se observa en la ilustración 70, el único cambio visible entre los enlaces físicos y lógicos de la zona, es que para envío de información entre MMT y ANG, todos los datos deben pasar por el Hotel Tuxtla. Otro punto importante de la topología lógica es que la salida hacia la nube MPLS-TP que interconecta con la red nacional de fibra, sale a través de un enlace DWDM.

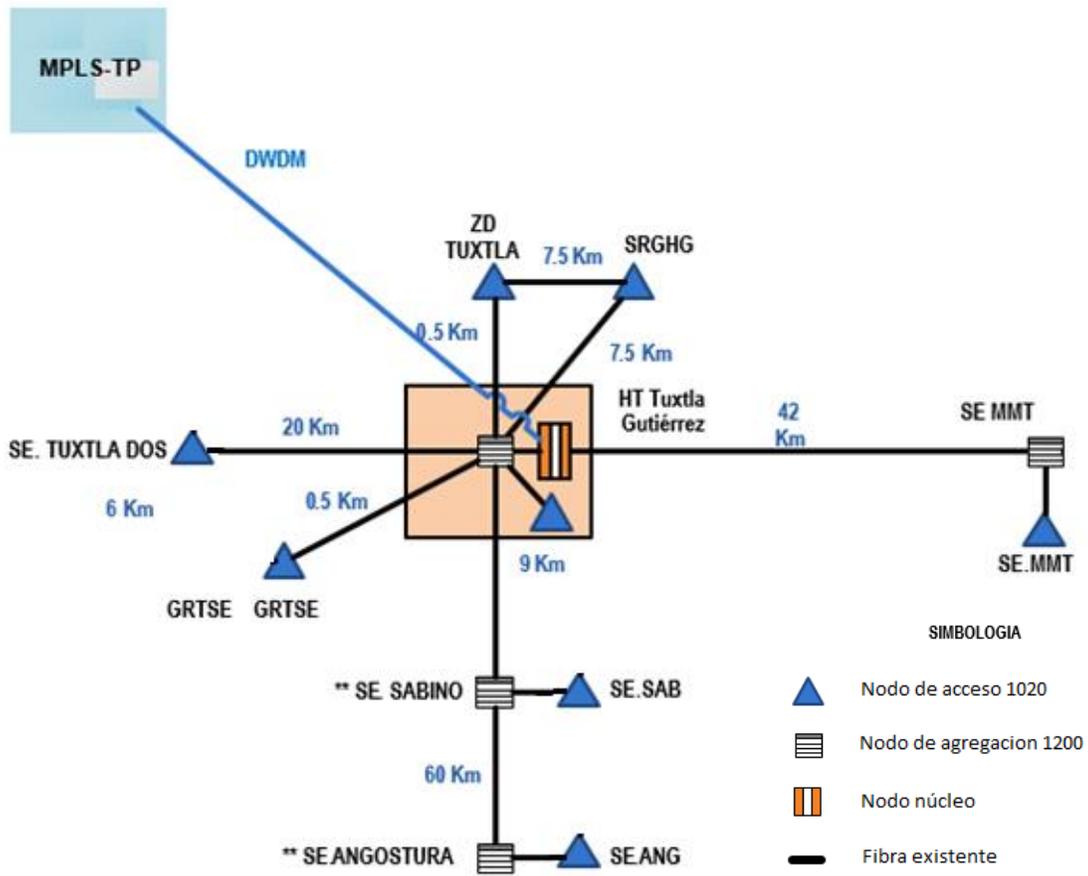


ILUSTRACIÓN 69- ESQUEMA LÓGICO RED MPLS-TP EN LA ZTTUX

4.1.4. INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPAMIENTO.

Los equipos utilizados para la red MPLS-TP en la Zona de Transmisión Tuxtla, son los mismos en cada uno de los sitios que la conforman (El Sabino, Manuel Moreno Torres y La Angostura). Es por eso que en este reporte de residencia profesional, el trabajo de recopilación de datos, instalación e implementación de los equipos, así como su configuración, se realizaron únicamente en el Sector Chicoasén.

4.1.4.1. CASETA SHELTER.

Las salas que albergan los equipos MPLS-TP deben estar debidamente acondicionadas, con refrigeración, ODF's (Optical Distribution Frame), gabinetes, fuentes de poder redundantes, cableado estructurado entre otras cosas, todo para el buen funcionamiento de los equipos. Cabe destacar que los equipos están diseñados para trabajar a temperaturas bastante altas de hasta 80°C, sin embargo se busca las condiciones óptimas de trabajo.

4.1.4.1.1. MUROS Y CUBIERTA.

La caseta Shelter, es el sitio donde se alberga el equipo de agregación NPT 1200, puede observarse en la ilustración 71. Es un espacio cerrado de estructura PVC con las siguientes medidas: 7X8 metros y 3 m de altura. La caseta de telecomunicaciones Shelter cuenta con paredes y techos libres de mantenimiento en caras interiores y exteriores, de manera que no hay necesidad de pintar o impermeabilizar durante la vida útil de la caseta.

La caseta Shelter llega de manera prefabricada para que el ensamble se logre en un máximo de una semana, soporta vientos de hasta 240 km/h por al menos 24 horas continuas, es totalmente hermética y resistente a condiciones extremas de intemperie.

Los muros y cubiertas son conformados por paneles y conectores fabricados cada uno en una sola pieza por sección, con una cara útil de 100x93 mm y 100x140 mm.



ILUSTRACIÓN 70-CASA SHELTER

4.1.4.1.2. INSTALACION ELECTRICA.

La alimentación de energía eléctrica a la caseta se realiza mediante dos registros eléctricos continuos en el exterior, adjuntos a la sala de fuerza, y concentraran dos acometidas eléctricas y la alimentación del generador. Estas llegan de los registros a la zona del tablero de transferencia en el interior de la caseta por piso, mediante 5 tubos PVC conduit de 3”.

Se cuenta con 14 lámparas fluorescentes de 2x32 con gabinetes tipo sellado en PVC y se distribuyen de la siguiente forma: 8 en la sala de operaciones, 2 en la sala de fuerza, 2 en el área de trabajo; una al frente, centrada en el umbral de la puerta y la última en el volado posterior de la caseta. Así también se tienen 13 contactos dúplex polarizados con puesta a tierra.

4.1.4.1.3. CABLEADO DE FUERZA.

Para alimentar los gabinetes en la sala de operaciones se tiene instalada una escalerilla de aluminio de 12” de ancho.

La altura de desplante de las escalerillas es de 2.20 m sobre nivel de piso terminado, con la intención de tener las salas libre de obstáculos.

4.1.4.1.4. CABLEADO DE DATOS.

Para la instalación de cableado coaxial y UTP se tiene una segunda sección de escalerillas de acero galvanizado de 8 pulgadas de ancho. Esta segunda sección de escalerillas está instalada a una distancia de separación con respecto a la escalerilla de cableado de fuerza de 30 cm.

4.1.4.1.5. CABLEADO DE FÍBRA ÓPTICA.

La instalación de fibra óptica cuenta con una tercera sección de escalerillas de PVC en color amarillo de 4" de ancho. Esta tercera sección se encuentra a una distancia de separación sobre la escalerilla de cableado de datos de 15 cm de altura. Así mismo se incluyen interconexiones en T y manguera flexible de 2" para tener 21 bajadas distribuidas equidistantes para entrar a los gabinetes. En la ilustración 72 se observa las escalerillas para los cableados de fuerza, datos y fibra óptica.



ILUSTRACIÓN 71-ESCALERILLAS P/CABLEADO

4.1.4.1.6. SISTEMA DE TIERRAS.

La caseta Shelter cuenta con un halo perimetral de tierra, el cual consta de 4 rehiletos enterrados en cada una de las esquinas, a una profundidad de 1.5 m debajo del nivel de terreno natural. Los rehiletos se unen entre sí por medio de cable desnudo de 2/0 AWG, soldados a las varillas de los rehiletos con soldadura Caldwell. El sistema de tierra cuenta con una resistencia menor a 2 Ohms.

4.1.4.1.7. AIRE ACONDICIONADO.

Se cuenta con un sistema de aire acondicionado consistente en dos equipos de la marca Emerson de 60,000 BTU cada uno que trabajan de manera alternada, controlados por un equipo de la marca Liebert Smart Cool que los hace alternar de manera equilibrada para que en caso de falla uno pueda respaldar al otro hasta su reparación. Los equipos se encuentran al fondo de la sala de operaciones separados uno de otro por 1.5 m. Las ilustraciones 73 y 74 muestran los equipos de A/C.



ILUSTRACIÓN 73- A/C EMERSON



ILUSTRACIÓN 72- CONTROL DE TEMPERATURA.

4.1.4.1.8. PISO CONDUCTIVO.

La caseta de telecomunicaciones cuenta en todo su interior con piso conductivo de tipo epóxico, con una resistividad eléctrica de 105 Ohms.

4.1.4.1.9. PLANTA DIÉSEL DE EMERGENCIA.

Se cuenta con una planta diésel de 50 kW de C.A de la marca Ottomotores como un sistema redundante de poder para la caseta de telecomunicaciones, es capaz de suministrar de manera efectiva, energía eléctrica para alimentar motores, alumbrado y equipos electrónicos. A continuación se presentan las características técnicas de la planta.

- Voltaje de generación: 220/127 VAC
- Factor de potencia: 0.8
- Regulación de voltaje: +/- 0.5%
- Frecuencia: 60 Hz
- Regulación de frecuencia: +/-0.5%
- No. De fases: 3
- No. De hilos: 4

Así mismo se tiene un tablero automático de transferencia capaz de conmutar en forma segura la planta de emergencia y se tiene la ventaja de operar manualmente en caso de falla de las bobinas de cierre. En la ilustración 75 se aprecia el generador de emergencia.



ILUSTRACIÓN 74-GENERADOR DE EMERGENCIA

4.1.4.1.9.1. PANEL DE MEDICIÓN Y CONTROL.

El control se encarga de proporcionar las señales de arranque, paro, control y protección de la planta generadora de energía eléctrica. Monitorea el voltaje de la red normal y del generador, censa alto y bajo voltaje, alta y baja frecuencia para ambas fuentes, controlando automáticamente las funciones de la unidad de transferencia. El panel (ilustración 75) tiene un display LCD que proporciona la información del estado de operación del equipo y los valores de instrumentación en tiempo real, incluye botones de dialogo (hombre-máquina) montados en el frente del módulo con LED's indicadores para la selección de modo de operación del sistema.

- Paro/desbloqueo
- Operación manual
- Modo de prueba
- Operación automática
- Arranque



ILUSTRACIÓN 75-PANEL DE CONTROL DE LA PLANTA

4.1.4.1.10. INSTALACIÓN DE EQUIPO NPT-1200.

4.1.4.1.10.1. INSTALACIÓN DE GABINETE.

El gabinete sirve como soporte para contener los equipos de telecomunicaciones. Los gabinetes utilizados para los equipos MPLS-TP son de las siguientes medidas: 1 X 1 X 2.10 m, como el que se muestra en la ilustración 77.



ILUSTRACIÓN 76-GABINETE

El gabinete se colocó al fondo de la sala de operaciones de la Shelter enfrente de la salida del aire acondicionado, como se muestra en la ilustración 78.



ILUSTRACIÓN 77- GABINETE MPLS-TP Y SALIDA DE A/C

La instalación típica (ilustración 79) utilizada para los equipos NPT-1200 es la siguiente.

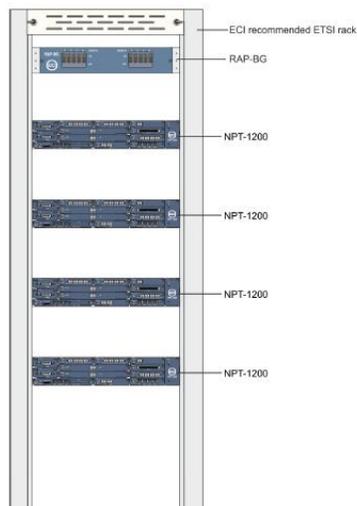


ILUSTRACIÓN 78- INSTALACIÓN RECOMENDADA POR EL FABRICANTE.

Se pueden acomodar hasta 4 equipos NPT-1200 en un mismo gabinete.

4.1.4.1.10.2. BREAKER RAP-4B

El RAP se utiliza para conectar la alimentación externa y monitoreo de alarmas de líneas a los equipos NPT-1200 instalados en el rack. El RAP es totalmente compatible con un máximo de cuatro estantes con alimentación de energía dual. En la ilustración 80 se observa el Breaker RAP-4B

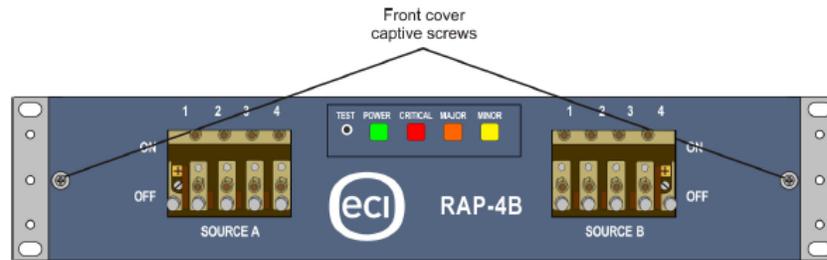


ILUSTRACIÓN 79-RAP-4B

Este modelo contiene indicadores luminosos del estatus de la alimentación.

Pasos para instalar el RAP-4B:

-Preparar los cables de alimentación: Para hacer la conexión desde el modulo RAP-4B hacia el módulo POWER IN del equipo NPT-1200 se utiliza un cable 12 AWG para cada fuente.

-Instalar el RAP-4B en el lugar indicado: Como se puede apreciar en la ilustración 81, el RAP-4B se instaló en la parte superior del gabinete.



ILUSTRACIÓN 80-LOCALIZACIÓN DE EQUIPO RAP-4B

-Conectar a tierra el RAP-4B: Esto se hace mediante cable 8 AWG suministrado por el proveedor el cual se conecta al chasis del gabinete como se observa en la ilustración 82, este a su vez está conectado al sistema de tierras de la caseta Shelter (ilustración 83).

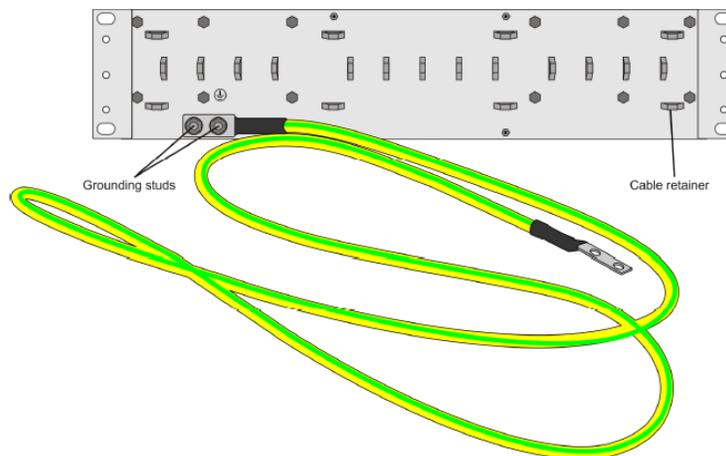


ILUSTRACIÓN 81-ESQUEMA DE CONEXIÓN A TIERRA.



ILUSTRACIÓN 82-SISTEMA DE TIERRAS CASETA SHELTER

-Conectar los cables de entrada de alimentación DC del banco de baterías al equipo RAP-4B. Esta conexión se realiza para cada fuente de alimentación. Se puede apreciar en la ilustración 84 y 85, que se cuenta con las terminales positivas y negativas que vienen desde el banco de baterías, y se pueden alimentar hasta 4 dispositivos (Shelf) con alimentación redundante, cada dispositivo cuenta con una protección termo-magnética (circuit breakers).

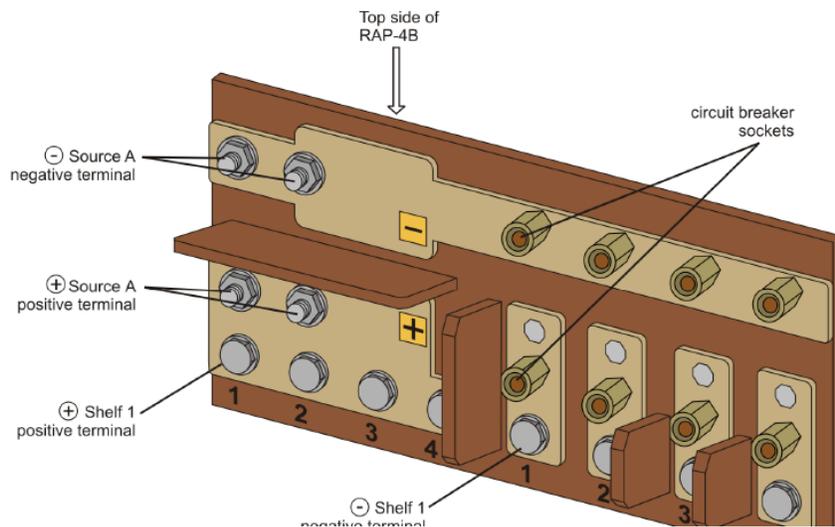


ILUSTRACIÓN 83- ESQUEMA I/O RAP-4B

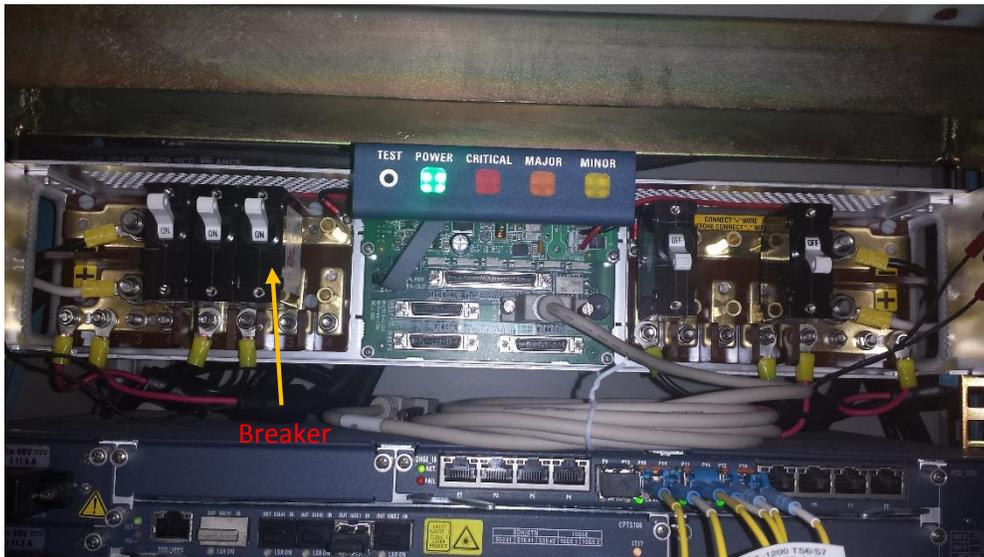


ILUSTRACIÓN 84- BREAKERS TERMO-MAGNÉTICOS

-Instalar los cables para cada plataforma NPT-1200 conectada al RAP-4B. Únicamente se tiene un equipo NPT-1200, este se conecta mediante cable 12 AWG hacia el RAP-4B, para cada fuente de alimentación. En la ilustración 86 se observa la alimentación de trabajo y respaldo del equipo.



ILUSTRACIÓN 85- FUENTE A Y B

4.1.4.1.10.3. MÓDULO NPT-1200

El módulo NPT-1200 cuenta con diferentes módulos, que se pueden agregar al mismo Shelf, tales como los módulos de poder, tarjetas de memoria flash y timing slots, sin embargo el proveedor de estos equipos entrega el modulo completo únicamente para ser instalado en el gabinete. Lo que hay que realizar para su instalación, es el sistema de alimentación que va conectado hacia el modulo RAP-4B y mandar a tierra el equipo a través del chasis, como se muestra en la ilustración 87.



ILUSTRACIÓN 86-CONEXIONES NPT-1200

4.1.4.1.10.4. SISTEMA DE FUERZA 48 VDC.

Para la alimentación de los equipos MPLS-TP se tiene un sistema de fuerza de la marca EMEISA, las características del sistema son las siguientes:

- Voltaje nominal: 48 VCD
- Corriente de salida: 100 A
- Modelo: 2X3 PSM 48/50
- Voltaje de entrada: 220 VAC

El sistema se compone de 6 módulos:

-Distribución de batería.

En este módulo es donde se encuentra el Breaker de baterías y el de la entrada de 220 VAC.

-Distribución de cargas.

En este módulo se encuentran los breakers de las cargas que serán alimentadas con el sistema de fuerza de CD.

-Corte por bajo voltaje.

Es un panel que se desconecta cuando existen bajos voltajes, para proteger las cargas.

-Charola para baterías.

Se cuenta con dos charolas para 4 baterías cada una, esto debido a que se cuenta con un sistema redundante, las especificaciones de las baterías son las siguientes:

- Baterías selladas libre de mantenimiento de la marca Power Safe, de plomo acido de válvula regulada.
- Capacidad nominal: 12 V 170 A.H
- Voltaje de flotación: 13.5 V
- Peso aproximado 57 Kg.

-Charola para rectificadores.

Se necesita 1 rectificador para cada charola de baterías, sin embargo el rack puede almacenar hasta 5 rectificadores para un sistema de respaldo. Los rectificadores tienen las siguientes características.

- Potencia nominal: 3.6 KW
- Voltaje nominal: 48 VCD
- Corriente máxima: 75 A
- Dimensiones: 16 cm de altura X 8.7 cm de ancho X 30 cm de profundidad.

Cada módulo rectificador posee LED's indicadores de voltaje de VCA (ON AC), voltaje de VCD (ON CD) y alarma (ALARM).

-Módulo de control y monitoreo.

En este módulo se cuenta con una pantalla táctil donde se monitorea el voltaje y amperaje de las baterías.

4.1.4.2. INSTALACIÓN DE EQUIPO NPT-1020.

La instalación de este equipo se llevó a cabo en otra sala de equipos de comunicaciones llamada “Sala Carrier”, en esta, se encuentran equipos OPLAT, Teleprotecciones, nodos SDH, nodos DWDM, conmutador telefónico y sistemas de control. Básicamente la instalación del equipo consiste en su alimentación y su fijación en el rack.

4.1.4.2.1. INSTALACIÓN EN GABINETE.

La configuración recomendada por el proveedor de estos equipos para su instalación en gabinetes (ilustración 88), es prácticamente similar a la de los equipos NPT-1200, se centra en poner un equipo de la serie RAP (en este caso RAP-BG), para la alimentación de más equipos ECI. En la siguiente ilustración se aprecia la configuración recomendada, los equipos EXT-2U son expansiones para el módulo NPT-1020, para este caso no serán utilizadas, únicamente se instalarán en el rack, los módulos RAP-BG y NPT-1020.

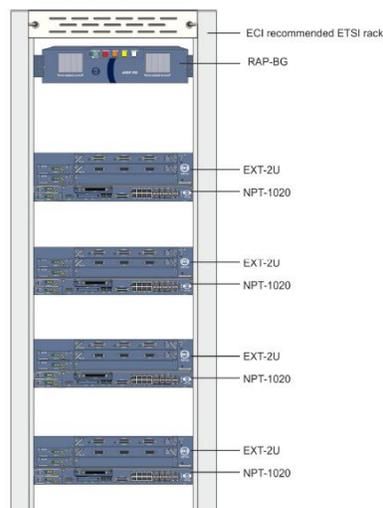


ILUSTRACIÓN 87- CONFIGURACIÓN RECOMENDADA POR EL PROVEEDOR.

4.1.4.2.1. RAP-BG.

El modulo RAP-BG es muy similar al equipo RAP-4B utilizado para el equipo NPT-1200, tanto en instalación como en funcionamiento y capacidad para alimentar equipos. La única diferencia es que no cuenta con LED's indicadores del estatus de las líneas, pero ofrece la capacidad de alimentar a 4 equipos con alimentación dual redundante. Su instalación consiste en:

-Instalar el equipo RAP-BG en el lugar adecuado.

La instalación se hizo bajo las recomendaciones de ECI, en la ilustración 89 se observa que el modulo RAP-BG está en la parte superior del rack.



ILUSTRACIÓN 88- RAP-BG EN LA PARTE SUPERIOR DEL RACK

-Mandar a tierra el modulo RAP-BG.

Se manda a tierra el modulo conectando el equipo al chasis mediante un cable 8 AWG, tal como se observa en la ilustración 90.



ILUSTRACIÓN 89- MANDANDO A TIERRA EL RAP-BG

-Conectar los cables de entrada de alimentación DC.

A continuación se muestra un esquema (ilustración 91) de como colocar la entrada de alimentación al equipo así como la instalación de breakers. Como se había dicho anteriormente, el equipo tiene la capacidad de alimentar hasta 4 equipos con alimentación dual o hasta 8 equipos con una sola alimentación.

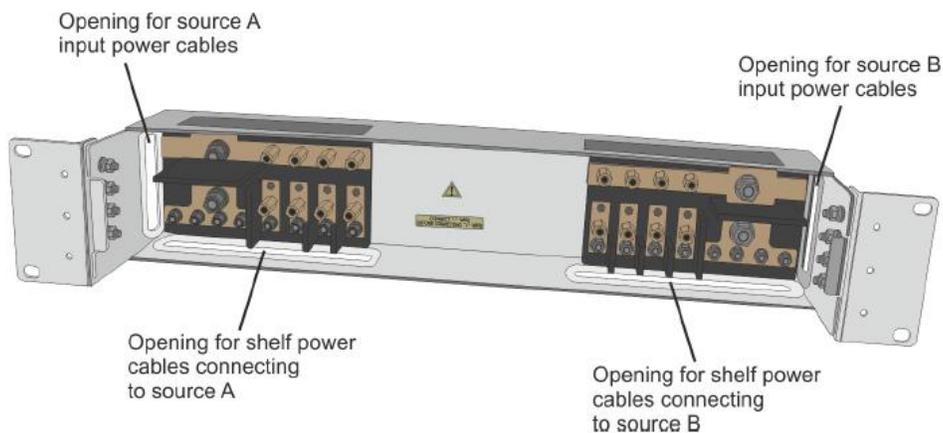


ILUSTRACIÓN 90- REMOVIENDO LA CUBIERTA.

La alimentación de entrada de DC debe ser conectada de igual manera como el equipo RAP-4B y deben conectarse los breakers termo-magnéticos para protección de los equipos como se aprecia en la ilustración 92.

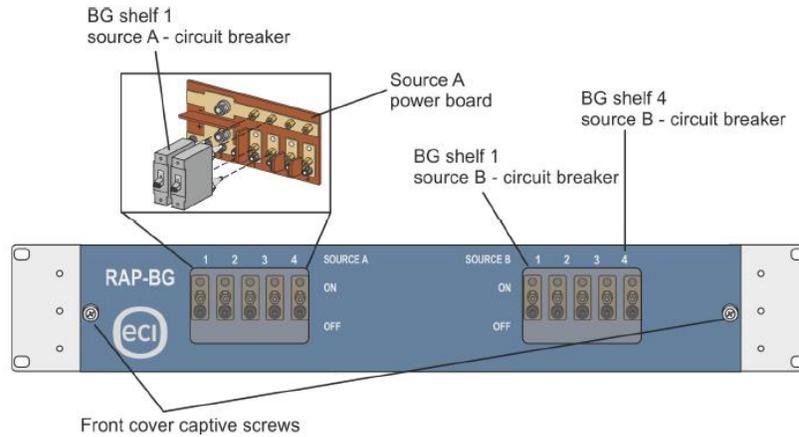


ILUSTRACIÓN 91- INSTALACIÓN DE BREAKERS.

-Conectar a las salidas del RAP-BG el equipo NPT-1020.

Esto se realiza mediante cables 12 AWG, como se observa en la ilustración 93.

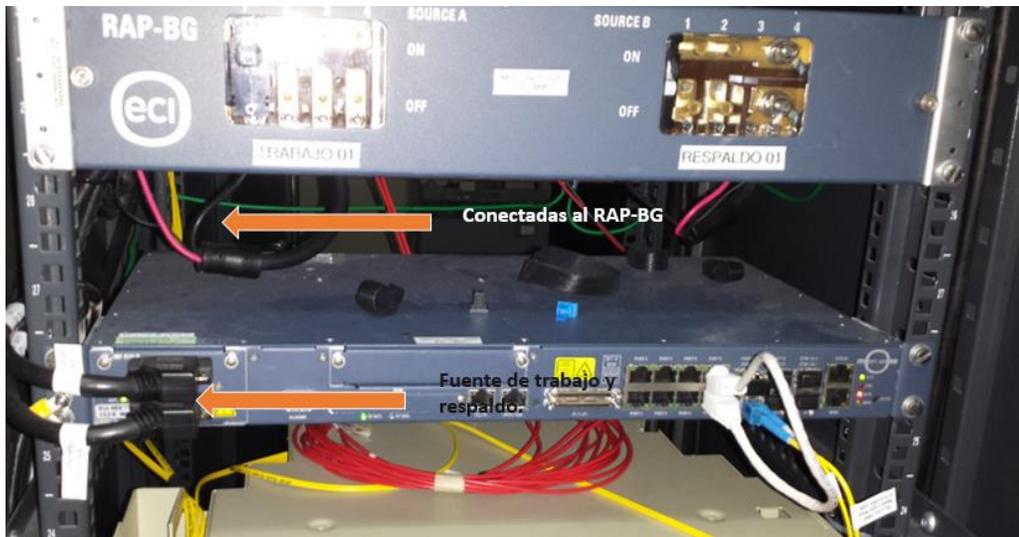


ILUSTRACIÓN 92- ALIMENTANDO AL EQUIPO NPT-1020.

4.1.5. CONFIGURACIÓN EN EQUIPOS ADMINISTRABLES.

4.1.5.1. CONEXIONADO DE LOS EQUIPOS A LA FIBRA ÓPTICA NPT-1020.

En este equipo, se conecta a través de un par de fibras con conectores tipo SC que interconectan el puerto óptico 9, estas fibras ingresan al ODF que está debajo del equipo e ingresan a las fibras 1 (Tx) y 2 (Rx) que se dirigen hacia la caseta Shelter, debido a que el equipo NPT-1020 se encuentra en la sala Carrier. En las ilustraciones 94 y 95 se observa la configuración de las fibras.

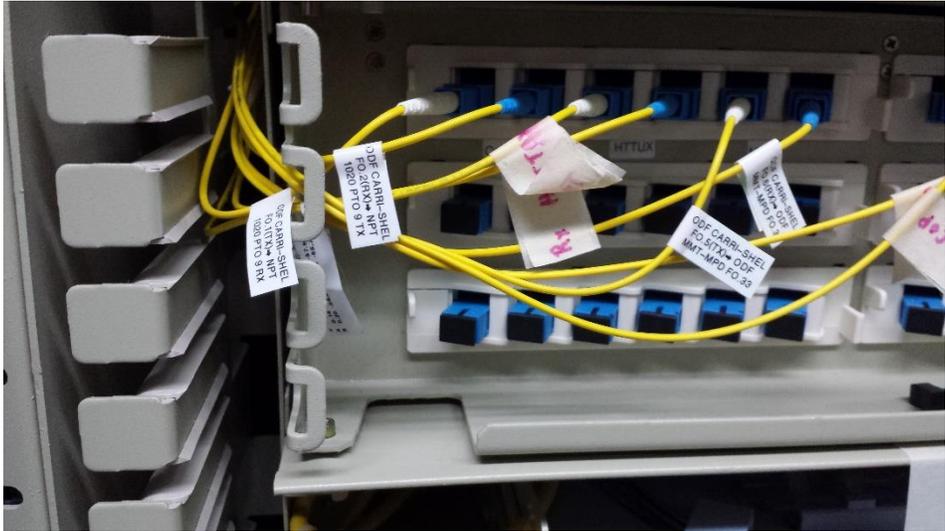


ILUSTRACIÓN 93-ODF FIBRAS 1 Y 2 HACIA LA CASA SHELTER.



ILUSTRACIÓN 94- ESQUEMA GENERAL.

NPT-1200.

El par de fibras que vienen desde la sala Carrier se ingresan a través de los puertos P13 del equipo, como se aprecia en las ilustraciones 96 y 97. Así también se sacan un par de fibras del puerto llamado LSR (Label Switching Router), este par de fibras se introducen en el ODF en las fibras 3 y 4 hacia las salas del Hotel Tuxtla en la Gerencia Regional de Transmisión Sureste, que es donde se aloja el equipo núcleo NPT-1600.

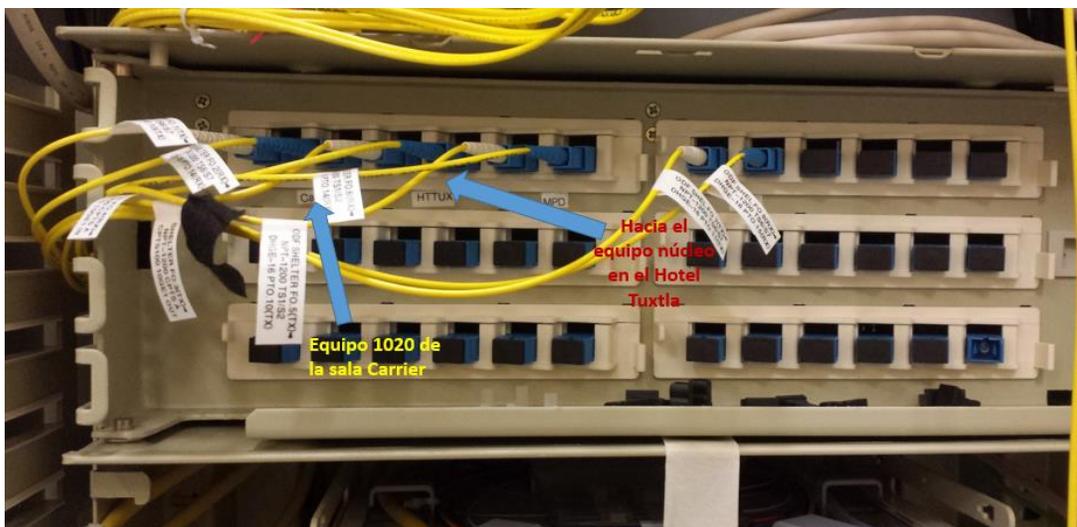


ILUSTRACIÓN 95-ODF DE CASA SHELTER.



ILUSTRACIÓN 96- Pto. LSR

4.1.5.2. AJUSTANDO DIRECCIONES IP.

Para poder configurar los equipos y asignar direcciones IP se necesita el software proporcionado por el proveedor LCT-APT.

NPT-1020.

Nos conectamos a través del puerto 1 con conectores RJ-45, luego abrimos el software LCT-APT, estos son los pasos que debes seguir para ajustar la dirección IP del equipo NPT-1020.

- 1.- Abrimos el software LCT-APT Boot Configuration Tool.
- 2.- Nos dirigimos a la pestaña "Login" y luego seleccionamos el equipo que vamos a configurar.
- 3.- Damos clic en la pestaña "Basic Parameter Configuration"
- 4.- Seleccionamos "Ethernet Only" y configuramos la dirección IP y su máscara de red.
- 5.- Damos OK y debe aparecer un recuadro, que la configuración fue exitosa.

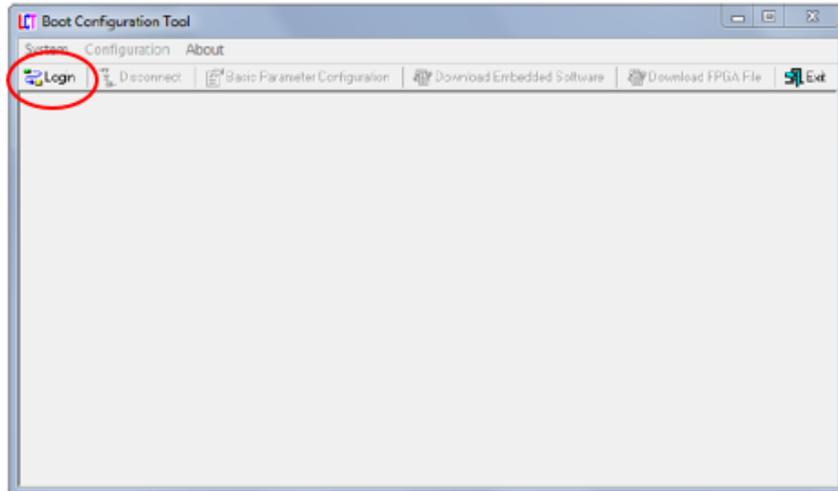


ILUSTRACIÓN 97-PESTAÑA "LOGIN"

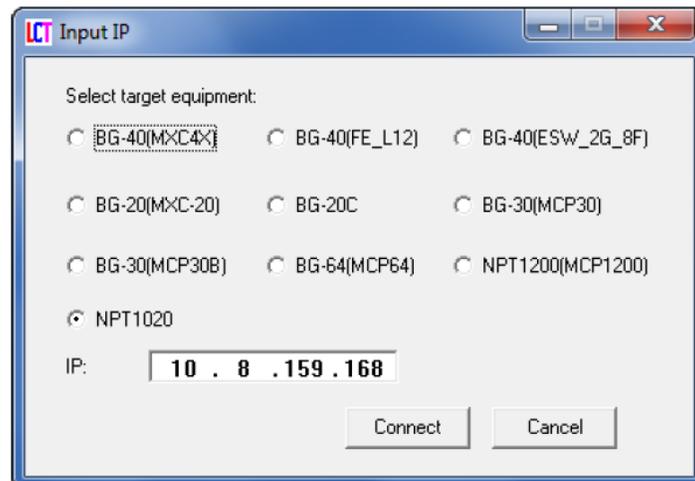


ILUSTRACIÓN 98-SELECCIONAMOS NPT-1020

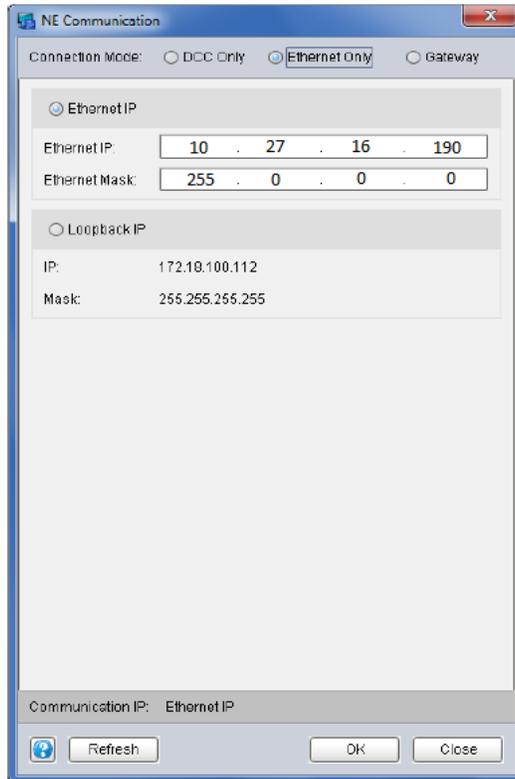


ILUSTRACIÓN 99-INSERTAMOS LA IP

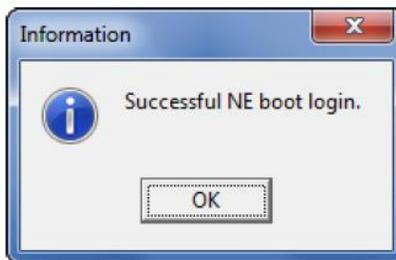


ILUSTRACIÓN 100-CONFIGURACION GUARDADA

NPT-1200.

El NPT-1200 se configura similar al equipo anterior, solo cambian las direcciones IP y el modo de trabajo del equipo.

Pasos para configurar el NPT-1200:

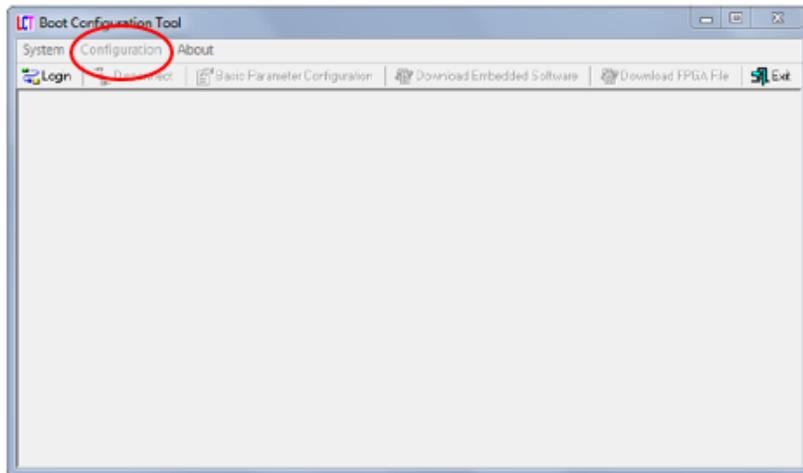
- 1.- Abrimos el software LCT-APT Boot Configuration Tool.
- 2.- Nos dirigimos a la pestaña “Login” y luego seleccionamos el equipo que vamos a configurar, para este caso sería el NPT-1200.
- 3.- Damos clic en la pestaña “Basic Parameter Configuration”
- 4.- Seleccionamos “Gateway” y configuramos la dirección IP y su máscara de red, para este caso 10.27.19.254 y 255.0.0.0 respectivamente.
- 5.- Damos OK y debe aparecer un recuadro, que la configuración fue exitosa.

4.1.5.3. CONFIGURACIÓN OSPF.

El equipo NPT-1200 se configura para que trabaje con el protocolo OSPF (Open Shortest Path First) para que trabaje de manera eficiente, esto se conoce como un ruteo dinámico, el cual elige el camino más corto o menos congestionado para enviar datos de un punto a otro.

Estos son los pasos para configurar el equipo NPT-1200 con este protocolo.

- 1.- Nos conectamos al equipo mediante el puerto 9 con conectores RJ45 y abrimos el software LCT-APT.
- 2.- Le damos clic en “Login” y escogemos el equipo que queremos configurar, para este caso sería el NPT-1200.
- 3.- Vamos a la barra de herramientas y damos clic en “IP Networking”.
- 4.-Habilitamos la opción OSPF y colocamos la dirección IP de nuestro equipo, así como su máscara de red, que en este caso sería: 10.27.19.254 y 255.0.0.0 respectivamente.
- 5.- Damos clic en “OK” para guardar los cambios y salimos del programa en la pestaña “EXIT”.



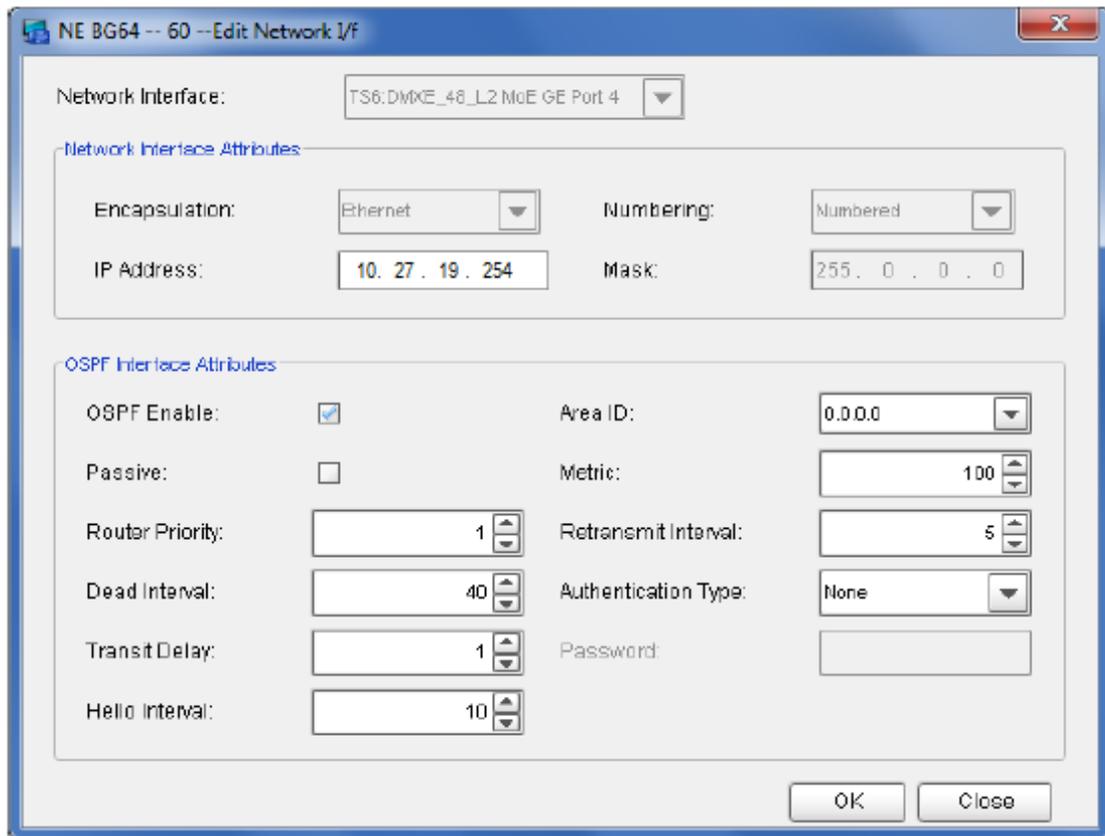


ILUSTRACIÓN 102-COLOCANDO LA IP

4.1.6. PRUEBAS Y MEDICIÓN DEL ENLACE IMPLEMENTADO.

Las pruebas realizadas en el enlace MMT-HTTux a través de las fibras 3 y 4 fueron hechas con OTDR para verificar la calidad del enlace, así también se realizaron pruebas con el comando PING, para verificar la conectividad entre los equipos NPT-1200 y NPT-1600.

Las trazas obtenidas con OTDR fueron las siguientes.

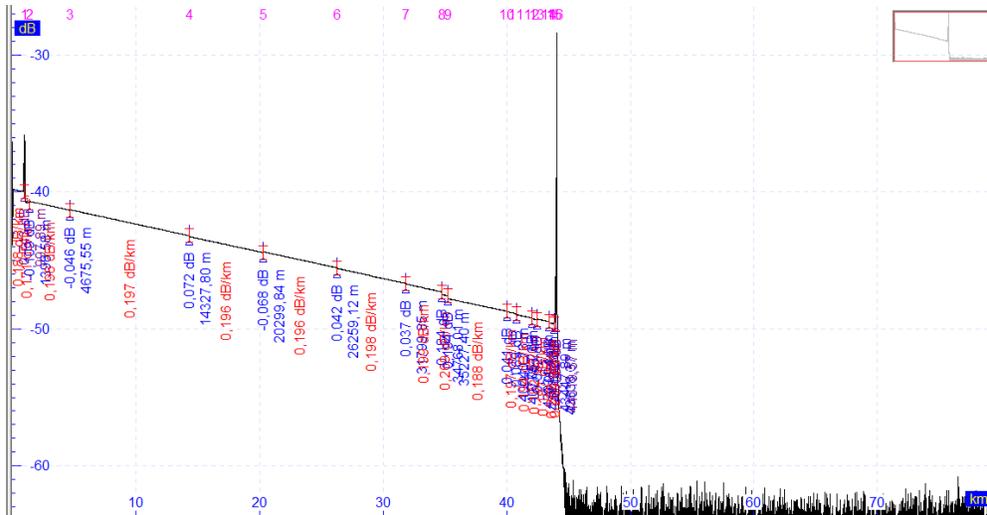


ILUSTRACIÓN 103- FIBRA 3 > 80 KM > 275 NS

Evento (17)	Distancia (m)	Atenuación (dB)	Reflectancia (dB)	Pendiente (dB/km)	Dist.rel. (m)	Pérdidas (dB)
1	997,89	0,743	-49,95	0,188	997,89	0,188
2	1398,58	-0,109		0,171	400,69	1,000
3	4675,55	-0,046		0,198	3276,97	1,541
4	14327,80	0,072		0,197	9652,25	3,403
5	20299,84	-0,068		0,196	5972,04	4,636
6	26259,12	0,042		0,196	5959,28	5,737
7	31799,85	0,037		0,198	5540,73	6,877
8	34768,01	0,184		0,199	2968,16	7,504
9	35227,40	0,194		0,269	459,39	7,809
10	40040,76	0,041		0,188	4813,36	8,908
11	40773,23	0,069		0,197	732,47	9,092
12	42031,44	0,057		0,194	1258,21	9,406
13	42429,58	-0,052		0,182	398,14	9,535
14	43447,89	0,094		0,187	1018,31	9,675
15	43838,37	-0,132		0,202	390,48	9,846
16	44019,57	0,000	-15,12	0,209	181,20	9,753
17			30,59			

TABLA 9- EVENTOS EN FIBRA 3

Se puede notar en la ilustración 104 los eventos en el enlace. Los primeros dos eventos forman parte de los conectores del OTDR y la bobina de lanzamiento, luego se pueden ver eventos que oscilan entre los -0.05 dB que se deben a empalmes por fusión, hasta llegar al último evento que es donde termina la fibra, se puede apreciar que cubre un aproximado de 44 Km que es la longitud del enlace entre MMT y el HTTux.

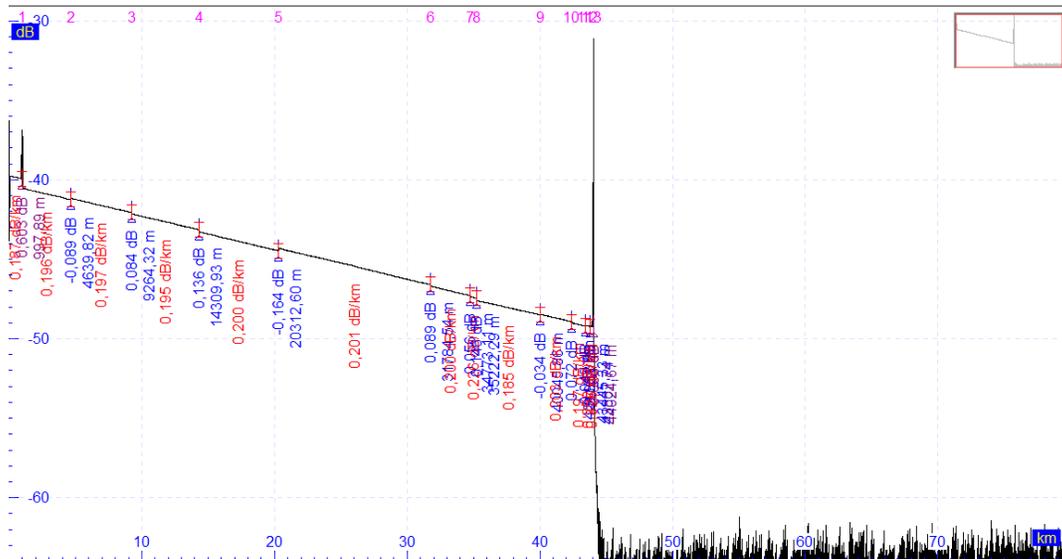


ILUSTRACIÓN 104- FIBRA 4> 80 KM> 240 NS

Evento (14)	Distancia (m)	Atenuación (dB)	Reflectancia (dB)	Pendiente (dB/km)	Dist.rel. (m)	Pérdidas (dB)
1	997,89	0,603	-52,55	0,187	997,89	0,187
2	4639,82	-0,089		0,196	3641,93	1,501
3	9264,32	0,084		0,197	4624,50	2,325
4	14309,93	0,136		0,195	5045,61	3,391
5	20312,60	-0,164		0,200	6002,67	4,729
6	31784,54	0,089		0,201	11471...	6,865
7	34773,11	0,056		0,200	2988,57	7,548
8	35222,29	0,146		0,226	449,18	7,707
9	40045,86	-0,034		0,185	4823,57	8,744
10	42419,37	0,072		0,203	2373,50	9,190
11	43445,33	-0,049		0,197	1025,97	9,466
12	43807,74	-0,061		0,202	362,41	9,489
13	44024,67	0,000	-21,28	0,325	216,93	9,497
14			32,02			

TABLA 10- EVENTOS EN FIBRA 4

Se puede ver en las tablas 9 y 10, así como en las trazas, que no existen atenuaciones considerables en el enlace, por lo que se tiene un enlace de buena calidad.

Para comprobar la comunicación entre los equipos NPT-1200 y NPT-1600, se utilizó el comando PING, estos son los pasos para realizar la prueba.

1.- Nos conectamos al equipo NPT-1200 mediante el puerto 9 con un conector RJ45 y abrimos el software LCT-APT Boot Configuration.

2.- Vamos a la pestaña “Login” y nos aparece una pantalla con las características que se configuraron anteriormente en el equipo, verificamos que sean las correctas para que no haya problemas de conexión.

3.- Buscamos en el menú inicio de Windows y buscamos CMD, y entramos al símbolo del sistema.

4.- Escribimos el comando: ping 194.194.194.193 que es la dirección IP que actualmente tiene el equipo núcleo alojado en el Hotel Tuxtla.

5.- Verificamos respuesta por parte del colateral.

6.- Escribimos: exit, para salir del símbolo del sistema.

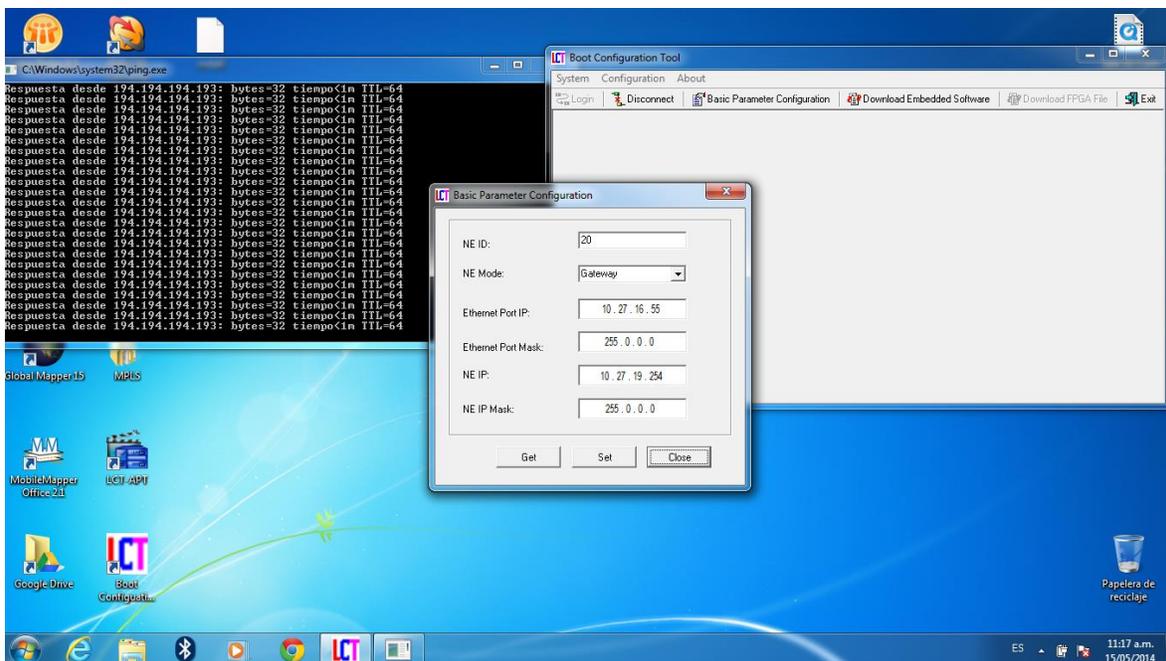


ILUSTRACIÓN 105-COMPROBANDO COMUNICACIÓN CON EL COLATERAL.

Capítulo V

5.1. RESULTADOS.

Como resultado del proyecto realizado se logra la incorporación de la Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres a la nueva red nacional de fibra óptica MPLS-TP, pasando a formar parte del conjunto de redes que conforman la Gerencia Regional de Transmisión Sureste; implementándose cableado de alimentación, la instalación de equipos de fuerza y equipos MPLS-TP, la configuración de equipos, así como el acondicionamiento de la caseta Shelter, acciones necesarias para lograr el correcto funcionamiento de los equipos MPLS-TP.

Se desarrollaron diagramas lógicos y físicos para la topología de red, basados en infraestructura actual, sin tener que realizar ningún tipo de tendido de fibra, ya que se utilizaron fibras de reserva.

Se programaron los equipos MPLS-TP través del software LCT-APT, se asignaron direcciones IP a los equipos NPT-1020 y NPT-1200 lado Chicoasén, programándose este último, para que opere con protocolo OSPF, con ello se obtiene como resultado una red eficiente al utilizar métricas que eligen la mejor ruta para el envío de información; aunque en este caso prácticamente sea un enlace punto a punto, se deja esta configuración para la posible expansión de la red y poder crear rutas de confiabilidad.

Se logró enlazar los equipos con el colateral que es el Hotel Tuxtla (HTTux), comprobando este enlace a través de pruebas con OTDR y comando PING para verificar la conexión y calidad del enlace implementado.

En resumen, se implementó de manera satisfactoria en la subestación Manuel Moreno Torres la red MPLS-TP y se deja lista para que la empresa cubra sus necesidades de transporte de información, y poder servir como red de trabajo para años futuros, cuando se tenga que ceder la actual red de fibra.

5.2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

En base al desarrollo del proyecto, se logró implementar el equipamiento necesario y el acondicionamiento de una sala para la instalación de los equipos MPLS-TP en la subestación Manuel Moreno Torres, con la finalidad de formar parte de la red nacional de fibra óptica MPLS-TP. Se realizó la configuración del equipo NPT-1200 para trabajar a través de protocolo OSPF así como también la asignación de direcciones IP's a los equipos MPLS-TP. Se conocieron también los demás equipos, servicios y aplicaciones relacionadas con el proyecto y se obtuvieron conocimientos adicionales como parte de mi formación profesional.

El proceso de migración hacia los equipos MPLS-TP, pone a la Comisión Federal de Electricidad a la vanguardia en el ámbito de las telecomunicaciones, de la misma manera se logra un gran beneficio al efficientar su red de fibra óptica, sin tener que modificar la infraestructura con la que actualmente se cuenta, esto debido a que la tecnología MPLS-TP es denominada como "hibrida" ya que utiliza multiplexación por división de tiempo y al mismo tiempo la conmutación de paquetes.

En fin, se concluye con la realización de los objetivos planteados, al implementarse y dejar en operación la red MPLS-TP en el sector Chicoasén para el transporte de servicios de datos.

Recomendaciones.

Como se comentaba anteriormente en las limitaciones del proyecto, se tiene que la expansión de la red MPLS-TP estará en función de la infraestructura de la red eléctrica de alta tensión por lo que se carece de rutas alternas por las que puedan transitar los datos en caso de contingencias. Por tal motivo es recomendable, tener rutas alternas y buscar formar anillos para tener redundancia del sistema.

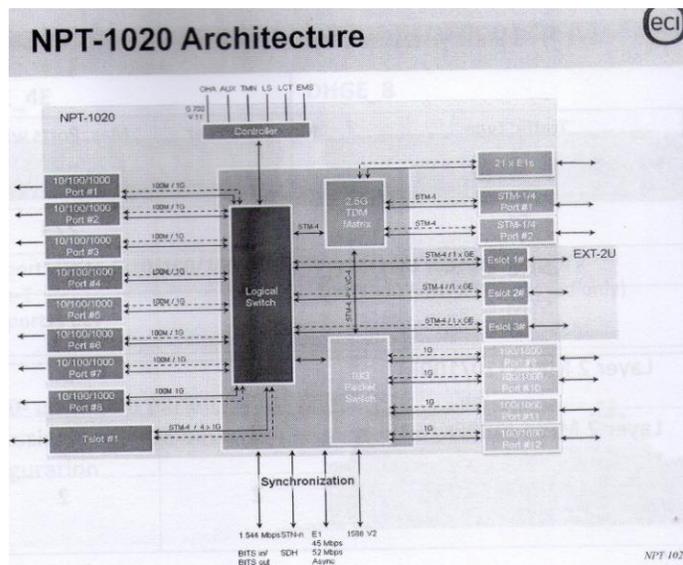
La recomendación que se plantea es poner un nodo MPLS-TP en la subestación de distribución ubicada en la ciudad de San Cristóbal de las Casas, como se muestra en la ilustración 107.

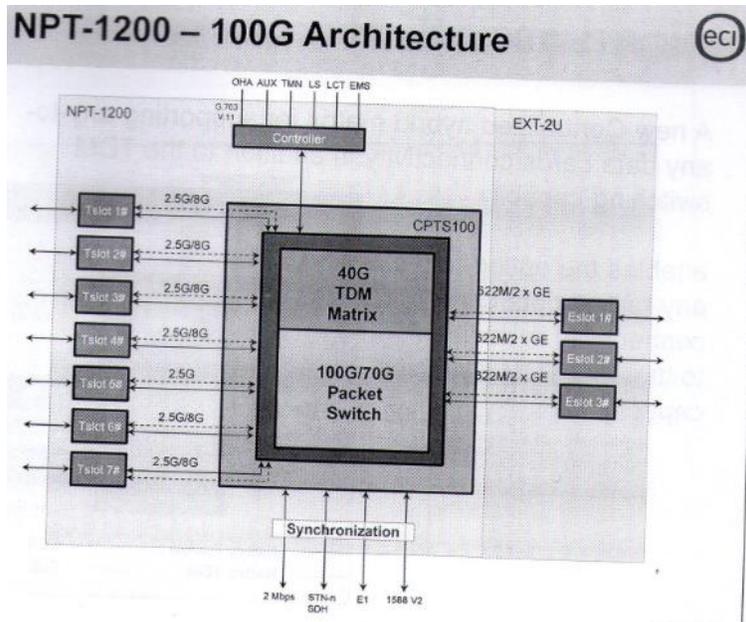


ILUSTRACIÓN 106- RECOMENDACIÓN PARA CONFIABILIDAD DE RED.

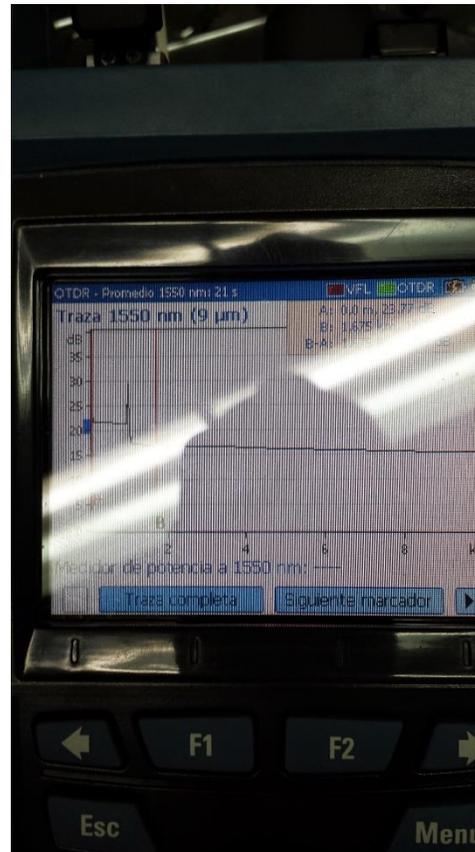
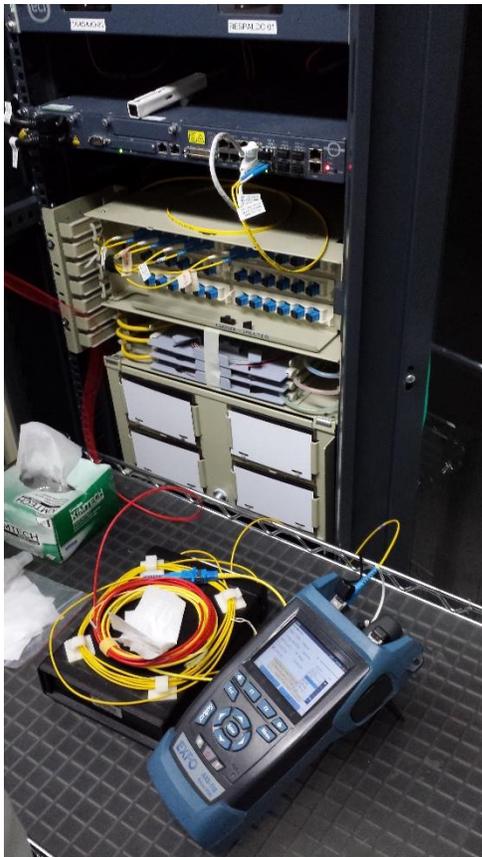
5.3. ANEXOS.

Anexo 1 (Arquitectura de los equipos).

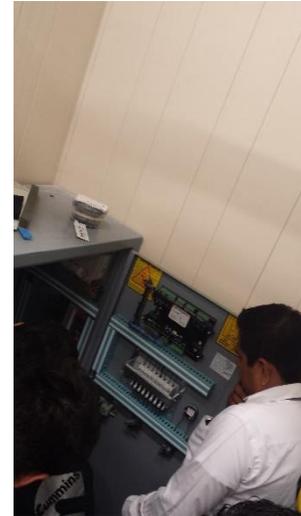




Anexo 2 (Pruebas con OTDR).



Anexo 3 (Haciendo pruebas con generador de emergencia).

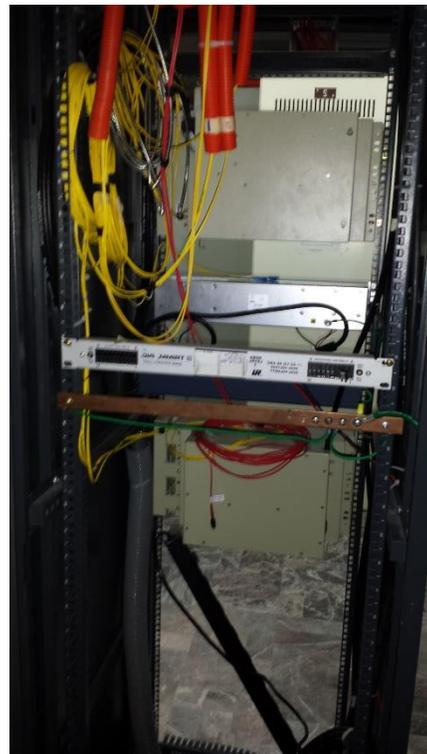
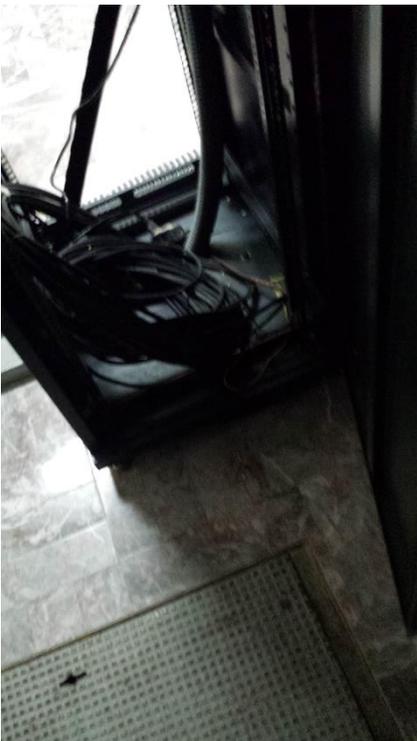


Anexo 4 (Equipo de fuerza).





Anexo 5 (Instalando equipos en el rack).



Anexo 6 (Cableado de fuerza 48 VCD).



5.4. FUENTES DE INFORMACION.

- NPT & MPLS Training Course Material for CFE Personnel. ECI Training Services.
- Curso Diseño de Redes Ópticas (Telecomunicaciones Vía Fibra Óptica Avanzada). Centro Nacional de Capacitación Occidente.
- Curso de Tecnología OTN CFE. Centro Nacional de Capacitación Sureste.
- Manual de Instalación y Mantenimiento NPT-1020 y NPT-1200. ECI Training Services.
- Guía de Usuario Software LCT-APT. ECI Training Services.
- Tópicos Selectos de Fibra Óptica. Hinojosa Gómez Luis. Monografía. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 2010.
- Redes de Conmutación de Paquetes Ópticos Basados en el Intercambio de Etiquetas Multiplexadas por Subportadora. Leguizamón Puerto Adolfo. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. 2011.
- Data Communications and Networking, Four Edition. Forouzan. McGraw Hill Companies. 2007.
- Estudio para la Integración de la Técnica de Multiplexación DWDM. Caizaluisa Palma Jorge. Tesis. Escuela Politécnica Nacional de Ecuador. 2009.
- MPLS Basics Cisco. Cisco. 2013.
- Análisis Tecnología PTN la Evolución en Transporte IP. Thone Torres Enrique. Tesis. Universidad Austral de Chile. 2013.