

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE REDUNDANCIA A DISTANCIA BAJO UNA PLATAFORMA SDH ENTRE LOS NODOS MAIQUETÍA LOCAL Y CATIA LA MAR PARA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE VOZ Y DATOS (CANTV)

TUTOR GUÍA: Prof. Luis Fernández
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Jesús Vásquez

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Ferrio D., Ricardo
Para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2009

Ferrio D., Ricardo

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE REDUNDANCIA A DISTANCIA BAJO UNA PLATAFORMA SDH ENTRE LOS NODOS MAIQUETÍA LOCAL Y CATIA LA MAR PARA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE VOZ Y DATOS (CANTV)

Tutor Académico: Luis Fernández. Tutor Industrial: Ing. Jesús Vásquez. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Comunicaciones. Institución: Compañía Anónima Nacional de Teléfonos de Venezuela (CANTV). 72 p. + Anexos.

Palabras Claves: Redundancia; Enlace de Fibra Óptica; PDH; SDH; Ampliación de capacidad.

Resumen. Se implementa la optimización del sistema de voz y datos entre las centrales de Maiquetía Local y Catia la Mar pertenecientes a la Compañía Anónima Nacional Teléfonos de Venezuela (CANTV) mediante la creación de una redundancia a través de una ruta alterna para equipos SDH y DSLAM siguiendo la ruta Catia la Mar – Aeropuerto – Maiquetía Radio – Maiquetía Local, utilizando como medio de transmisión fibra óptica. Simultáneamente se llevó a cabo la migración de una plataforma PDH con capacidad de 140 Mbps hacia una plataforma SDH con capacidad de 2.5 Gbps utilizando equipos AT&T SLM 2000 – 16 que habían sido desincorporados de otras áreas de la misma compañía. Esto permitió crear una plataforma más segura y con mayor capacidad de servicio para los abonados de las zonas aledañas a dichas locaciones sin necesidad de hacer nuevas inversiones en equipos.

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

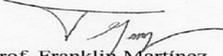
Caracas, 23 de octubre de 2009

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Ricardo Ferrio D., titulado:

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REDUNDANCIA A DISTANCIA BAJO UNA PLATAFORMA SDH ENTRE LOS NODOS MAIQUETÍA LOCAL Y CATIA LA MAR PARA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE VOZ Y DATOS (CANTV)”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Comunicaciones, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.


Prof. Zeldívar Bruzual
Jurado


Prof. Franklin Martínez
Jurado


Prof. Luis Fernández
Prof. Guía

DEDICATORIA

A Dios Padre Todo Poderoso por ser la fuente de vida y amor, por darme fortaleza y demostrarme que existe al estar allí en los momentos en que más lo necesito.

A mi madre Tanella Donofrio, por haber dado todo por mí y ser mi ejemplo de lucha, perseverancia, trabajo y superación, porque gracias a su apoyo he alcanzado lo que soy hoy día.

A mi padre Leonardo Ferrio, por apoyarme en todo lo que he requerido y estar siempre en los momentos más duros.

A mi novia Laura Benzecri, por estar siempre y apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida.

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela por darme la oportunidad de estudiar en esta prestigiosa casa de estudio y formarme como profesional en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a sus profesores por impartirme sus conocimientos.

A María Auxiliadora por siempre tender su mano amiga en todo momento.

A mi tutor académico Luis Fernandez, por estar en todo momento dispuesto a ayudarme y corregirme cuando fue necesario.

A Todo el personal de la unidad de transmisión por estar siempre prestos a ayudarme durante el desarrollo del trabajo de grado.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	ii
CONSTANCIA DE APROBACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS.....	v
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS	xi
SIGLAS.....	xii
ACRÓNIMOS.....	xiii
CAPITULO I	
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	4
CAPITULO II	
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Fibra Óptica	7
2.1.1 Definición	7
2.1.2 Estructura de la fibra óptica	7
2.1.3 Tipos de fibra	9
2.1.3.1 Fibra monomodo	9
2.1.3.2 Fibra multimodo	9
2.1.3.2.1 Fibra de índice escalonado	10
2.1.3.2.2 Fibra de índice gradual	11
2.1.4 Ventajas y desventajas de la fibra óptica	11
2.1.4.1 Ventajas	11
2.1.4.2 Desventajas	13
2.2 Empalmes y conexiones de fibra óptica	14
2.2.1 Técnicas de empalme	16
2.2.1.1 Empalme por fusión	16
2.2.1.2 Empalme mecánico	17
2.2.2 Tipos de conectores	17

2.3	OTDR (Optical Time Domine Reflectomer)	19
2.4	Sistemas de trasmisión PDH	20
2.5	Sistemas de trasmisión SDH	22
2.5.1	Estructura de la trama SDH	23
2.5.1.1	Sección de cabecera extra	24
2.5.1.2	Puntero	25
2.5.1.3	Carga útil	25
2.5.2	Estructura SDH	26
2.5.3	Sincronización	27
2.6	Equipo SDH AT&T SLM – 2000 – 16	28
2.6.1	Unidades de trasmisión de baja velocidad	29
2.6.2	Unidades de trasmisión de alta velocidad.....	30
2.6.3	Configuración del terminal de línea	31

CAPITULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REDUNDANCIA A DISTANCIA BAJO UNA PLATAFORMA SDH ENTRE LOS NODOS MAIQUETÍA LOCA Y CATIA LA MAR		33
3.1	Topología original del enlace Catia la Mar – Maiquetía Local para equipos PDH (planta interna)	33
3.2	Topología original del enlace Catia la Mar – Maiquetía Local para equipos DSLM (planta interna)	34
3.3	Topología original del enlace Catia la Mar – Maiquetía Local para equipos PDH (planta externa)	35
3.4	Topología original del enlace Catia la Mar – Maiquetía Local para equipos DSLAM Alcatel ASAM 7302 (planta externa)	36
3.5	Generación de ruta de respaldo	37
3.5.1	Análisis y diseño de ruta del tendido para redundancia	37
3.5.2	Determinación de fibras disponibles	39
3.5.2.1	Tramo Catia la Mar - Aeropuerto	39
3.5.2.2	Tramo Aeropuerto -Maiquetía Local	39
3.5.2.3	Tramo Aeropuerto - Maiquetía Radio	39
3.5.2.4	Tramo Maiquetía Radio - Maiquetía Local	40
3.6	Pruebas en las fibras seleccionadas	40
3.6.1	Pruebas de reflectometría	40
3.6.1.1	Tramo Catia la Mar - Aeropuerto	41
3.6.1.2	Tramo Aeropuerto - Maiquetía Radio	41
3.6.1.3	Tramo Maiquetía Radio - Maiquetía Local	42

3.7	Pruebas de potencia punto a punto	42
3.7.1	Tramo Catia la Mar - Aeropuerto	42
3.7.2	Tramo Aeropuerto - Maiquetía Radio	43
3.7.3	Tramo Maiquetía Radio - Maiquetía Local	43
3.8	Interconexión y pruebas de las fibras para generación de ruta final	44
3.8.1	Pruebas de reflectometría	45
3.8.2	Pruebas de potencia punto a punto	46
3.9	Instalación de equipos terminales SDH AT&T SLM - 2000 – 16 en las salas PCM de Maiquetía Local y Catia la Mar	47
3.9.1	Estructura del equipo	47
3.9.1.1	Bastidor Principal o Rack Frames de 19”	47
3.9.1.2	Sub bastidores	47
3.9.2	Sala PCM Maiquetía Local	50
3.9.2.1	Instalación de bastidores y sub bastidores	51
3.9.2.2	Alimentación del equipo	54
3.9.2.3	Tendido del cableado de fibra óptica	54
3.9.3	Sala PCM Catia la Mar	56
3.10	Verificación del funcionamiento y niveles de potencia real de las tarjetas en los terminales SDH AT/T SLM - 2000 – 16 en las salas PCM de Maiquetía Local y Catia la Mar	57
3.10.1	Sala PCM Maiquetía Local	57
3.10.2	Sala PCM Catia la Mar	59
3.11	Pruebas en los terminales SDH AT/T SLM - 2000 – 16 en las salas PCM de Maiquetía Local y Catia la Mar	59
3.11.1	Prueba de BER	60
3.11.2	Prueba de conmutación para los equipos SDH	61
3.11.3	Prueba de conmutación para los equipos DSLAM	62
3.12	Migración de la plataforma PDH a SDH	62
3.13	Topología actual del enlace Catia la Mar – Maiquetía Local para equipos SDH	63
3.14	Topología actual del enlace Catia la Mar – Maiquetía Local para equipos DSLAM	64
	CONCLUSIONES	66
	RECOMENDACIONES	68
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
	BIBLIOGRAFÍA	71
	ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	Pág.
1. Sección de un cable de fibra óptica.	8
2. Fibra monomodo.	9
3. Fibra multimodo.	10
4. Fibra de índice escalonado.	10
5. Fibra de índice gradual.	11
6. Errores de empalmes de fibra óptica.	15
7. Conector Biconico.	18
8. Conector F.C.	18
9. Conector L.C.	18
10. Conector S.C.	19
11. Conector S.T.	19
12. Montaña Mux.	21
13. Estructura de una trama SDH.	24
14. Mapa de la trama SDH.	26
15. Topología original equipos PDH.	33
16. Topología original equipos DSLAM.	34
17. Topología original enlace equipos PDH.	35
18. Topología original enlace equipos DSLAM.	36
19. Posibles rutas de redundancia.	38
20. Interconexión en sala PCM Aeropuerto.	44
21. Interconexión es sala PCM Maiquetía Radio.	45
22. Sub bastidor del Terminal de Línea SLM – 2000 – 16.	48
23. Sub bastidor del Terminal de Línea en configuración 1+1.	52

24. Parte posterior de panel de distribución DSX AT&T ¾.	53
25. Parte frontal del ICP.	53
26. Topología actual planta interna equipos SDH.	63
27. Topología actual planta externa equipos SDH.	64
28. Topología actual planta interna equipos DSLAM.	65
29. Topología actual planta externa equipos DSLAM.	69

LISTA DE TABLAS

TABLAS	Pág.
1. Comparación tramas PDH utilizada en América y Europa.	22
2. Tasas de Bit soportada por cada recipiente virtual.	27

SIGLAS

CANTV: Compañía Anónima Nacional Telefónica de Venezuela.

ISO: Organización Internacional para la Estandarización.

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones.

ACRÓNIMOS

AU por Unidad Administrativa, también llamada Tributaria (TU).
BER por Tasa de Error de Bit.
BNC por Conector Bayoneta Neill – Concelman.
DSLAM por Multiplexor Digital de Acceso a Línea de Abonado.
DSX por Panel de Conexión Digital Cruzada.
FC por Conector de Ferrule de Fibra Óptica.
ICP por Panel de Interconexión.
LC por Conector Local de Fibra Óptica.
LOC por Unidad Controladora de Cabecera de Línea.
LRx por Unidad de Recepción.
LTx por Unidad de Transmisión.
MSOH por Sección de Multiplexación de Cabecera Extra.
ODF por Distribuidor de Fibra Óptica.
OTDR por Reflectómetro Óptico en Dominio del Tiempo.
PCM por Modulación por Codificación de Pulsos.
PDH por Jerarquía Digital Plesiócrona.
PRC por Reloj de referencia primario.
RSOH por Sección de Regeneración de Cabecera Extra.
Rx por Recepción / Receptor.
SC por Conector Estándar de Fibra Óptica.
SCT por Unidad Controladora del Sistema.
SDH por Jerarquía Digital Síncrona.
SI por Fibra de Índice Escalonado.
SM por Modo Singular / Monomodo.
SOH por Sección de Cabecera Extra.
SPF por Unidad de Filtro de Alimentación.
STM por Módulo de Transporte Síncrono.
TGU por Unidad de Temporización.
TPU por Unidad de Puerto Tributario.
Tx por Transmisión / Transmisor.
UPL por Panel de Usuario.
UTC por Tiempo Universal Coordinado.
VC por Contenedor Virtual.

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones se han convertido en una de las áreas de la ingeniería con más auge y desarrollo tecnológico en los últimos años. La demanda de servicios de transmisión de información (voz, datos, video, etc.) se ha venido incrementando de manera exponencial a nivel mundial.

Dichos servicios deben cumplir con una serie de parámetros de calidad, los cuales son de vital importancia para brindar bienestar a los usuarios que día a día dependen de estos. Este punto se ha convertido en una gran preocupación para las empresas que prestan servicios de comunicaciones, las cuales luchan por dar la mejor calidad en lo que a esto se refiere. Es por esto que regularmente realizan cambios e innovaciones en los equipos terminales para aumentar las capacidades de los sistemas de transmisión.

En Venezuela la Compañía Anónima Nacional Teléfonos de Venezuela (CANTV) posee la red de comunicaciones interconectada más importante a nivel nacional. Esta red está conformada por distintos medios de transmisión como por ejemplo fibra óptica.

Desde hace algunos años, la corporación CANTV ha utilizado equipos PDH con capacidad de 140 Mbps para dar servicios de comunicaciones a distintas zonas de nuestro país utilizando como medio de transmisión la fibra óptica. Este es el caso de las centrales de Catia la Mar y Maiquetía Local en el Estado Vargas.

Hoy día esta tecnología está quedando obsoleta por diversas razones como lo son: que su ancho de banda es muy reducido para poder responder a la demanda de servicio existente, también esta tecnología posee una capacidad limitada para mantener el enlace funcionado sin fallas y por último, pero no menos importante, es que sus repuestos son difíciles de encontrar.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a las continuas fallas que presenta el enlace de fibra óptica con terminales PDH en el tramo comprendido entre Maiquetía y Catia La Mar, es necesario efectuar la migración de la plataforma PDH que se encuentra operativa, a una plataforma SDH así como la generación de un anillo de fibra tanto para los terminales SDH como para los equipos DSLAM, que garanticen mayores prestaciones a los usuarios de los servicios de voz y datos prestados por la corporación CANTV en las zonas aledañas a las locaciones anteriormente mencionadas. De igual manera se busca garantizar la incorporación de nuevos usuarios a la red interconectada de fibra.

1.3 OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de redundancia bajo una plataforma SDH con capacidad de 2,5 Mbps que sustituirá a una plataforma PDH con capacidad de 140 Mbps.

Objetivos específicos

- Realizar mediciones en el enlace de fibra óptica entre los tramos Catia La Mar – Aeropuerto, Aeropuerto – Maiquetía Radio, Maiquetía Radio – Maiquetía Local, Aeropuerto- Maiquetía Local, para determinar las condiciones y disponibilidad del medio de transmisión.
- Realizar la interconexión entre los puntos anteriormente mencionadas para generar un anillo de fibra óptica.
- Realizar mediciones de potencia y reflectometría óptica de la ruta de fibra construida previamente.
- Generar ingeniería de detalle en los edificios de operación Catia La Mar y Maiquetía para implementación de equipos terminales SDH.
- Instalar y configurar los equipos SDH en ambas locaciones.

- Implementar rutinas de prueba para la plataforma SDH bajo parámetros de calidad de servicio así como resolver posibles fallas.
- Efectuar migración total hacia la plataforma SDH.
- Verificar la operatividad del equipo DSLAM ubicado en Catia La Mar luego de este ser incorporado a la ruta del anillo creado.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Fibra Óptica [1] [2]

2.1.1 Definición [1]

La fibra óptica es una guía de onda en forma de hilo de material altamente transparente diseñado para transmitir información a grandes distancias utilizando señales ópticas. La fibra óptica es el medio de transmisión preponderante en las redes de comunicación óptica. La fibra se utiliza en lugar de los cables metálicos convencionales con la ventaja de tener un ancho de banda notablemente superior, menores atenuaciones y mayor inmunidad al ruido electromagnético.

2.1.2 Estructura de la fibra óptica [1]

La fibra está compuesta por un núcleo (core), un revestimiento (cladding) y una capa o funda exterior (buffer + jacket). Los pulsos de luz se emiten iluminando el núcleo. La capa de revestimiento ayuda al proceso de transmisión, guiando que la luz vaya por el núcleo y no salga de él. La capa o funda exterior sirve para dar suficientes propiedades mecánicas a la manguera y se suele fabricar con polímeros. El núcleo puede ser de diferente geometría y diámetro, lo cual proporciona las distintas prestaciones ópticas.

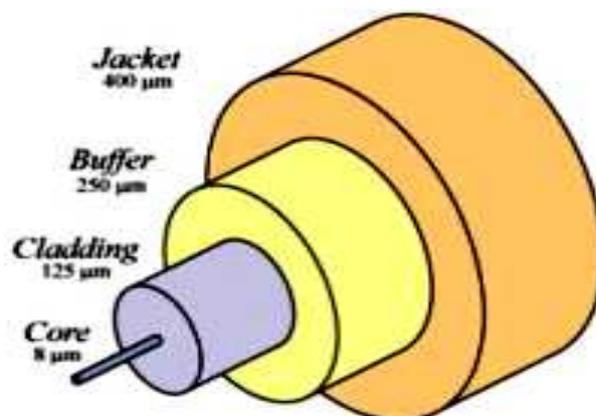


Figura # 1. Sección de un cable de fibra óptica. Fuente: [1]

Los cables de fibra óptica se fabrican en diferentes longitudes que generalmente son inferiores a 3.000 metros.

Las fibras ópticas se catalogan según distintos parámetros. Los dos principales son atenuación y dispersión.

La atenuación es la reducción de potencia luminosa con la distancia, que puede ser debida a fenómenos de dispersión y de absorción que afectan incluso a los materiales más puros. La atenuación pone un límite a la distancia máxima que pueden detectarse los pulsos luminosos. La atenuación se expresa en decibelios por kilómetro (dB/km) para una determinada longitud de onda o para un rango de longitudes de onda.

La dispersión tiene una relación inversa con el ancho de banda, que es la capacidad de transportar información que tiene una fibra. A grandes rasgos también se puede decir que es la cantidad de distorsión de un pulso en la transmisión. Si los pulsos se distorsionan demasiado, el detector no podrá distinguir un pulso del anterior y del siguiente, con lo que se pierde información. En todos los tipos de fibra hay dispersión cromática debida a que los diferentes colores (que componen un pulso de luz) van a diferentes velocidades por la fibra.

2.1.3 Tipos de Fibra

En comunicaciones ópticas se emplean dos tipos de fibra: monomodo y multimodo.

2.1.3.1 Fibra Monomodo [1]

Las fibras monomodo están compuestas de un hilo de núcleo de muy pequeño diámetro ($<10\ \mu\text{m}$) que soporta un solo modo de transmisión luminosa.



Figura # 2. Fibra monomodo. Fuente: Autor.

La fibra monomodo tiene la menor atenuación y el mayor ancho de banda de todos los tipos de fibra óptica. La electrónica de transmisión, recepción y repetición también es más cara que la de los sistemas multimodo. En las aplicaciones FTTH con fibra monomodo la Recomendación UIT-T G.652 cubra la mayoría de los casos

2.1.3.2 Fibra Multimodo [1]

Las fibras multimodo están formadas por un núcleo de mayor diámetro que las monomodo (50 ó 62.5 micras) y en consecuencia los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino (diferentes trayectorias de luz en el núcleo). Dependiendo de las características del emisor y el medio, la potencia luminosa del pulso se divide sobre todos o parte de los modos.

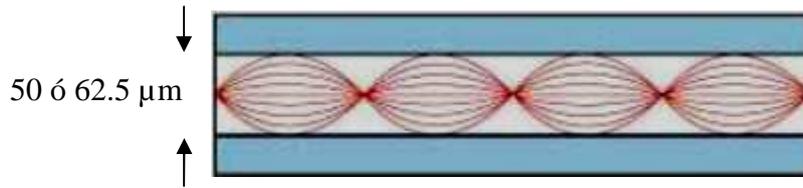


Figura # 3. Fibra multimodo. Fuente: Autor.

La distinta velocidad de propagación de cada modo (dispersión modal) se puede optimizar con un diseño adecuado. La fibra multimodo precisa una electrónica y conectores más baratos, si bien el coste de la fibra suele ser superior a la monomodo. Las fibras multimodo se utilizan en redes a distancias cortas, por ej. campus y edificios. La Norma ISO/IEC11801 determina la velocidad de datos y alcance de cada uno de los grados de fibra multimodo, que se conocen como OM1, OM2 y OM3.

Dependiendo el tipo de índice de refracción del núcleo, existen dos tipos de fibra multimodo:

2.1.3.2.1 Fibra de índice escalonado [2]

También llamadas salto de índice (SI), son aquellas en las que al movernos sobre el diámetro AB, el índice de refracción toma un valor constante n_2 desde el punto A hasta el punto donde termina el revestimiento y empieza el núcleo. En ese punto se produce un salto con un valor $n_1 > n_2$ donde también es constante a lo largo de todo el núcleo.

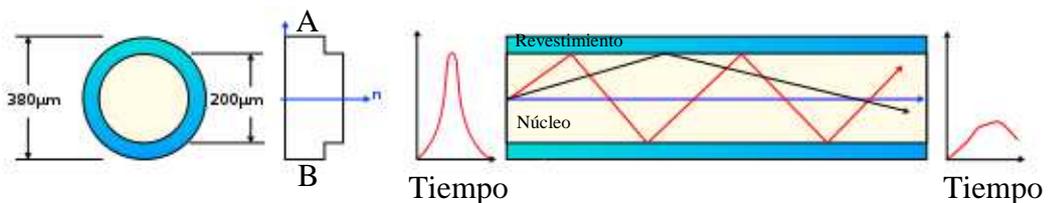


Figura # 4. Fibra de índice escalonado. Fuente: [5] más modificaciones del Autor.

En las fibras de índice escalón multimodo la dispersión del haz de luz ocasionado por retardo de los distintos caminos de los modos de propagación, limita en ancho de banda.

2.1.3.2.2 Fibra de índice gradual [2]

El índice de refracción n_2 es constante en el revestimiento, pero en el núcleo varía gradualmente (en forma parabólica) y se tiene un máximo en el centro del núcleo. Este tipo de perfil es utilizado en las fibras multimodo pues disminuye la dispersión de las señales al variar la velocidad para las distintas longitudes de los caminos en el centro y próximos a la frontera.

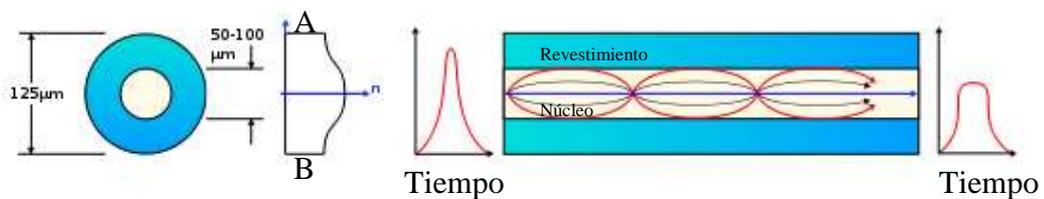


Figura # 5. Fibra de índice gradual. Fuente [5] y modificaciones del Autor.

2.1.4 Ventajas y desventajas de la fibra óptica [3]

2.1.4.1 Ventajas [3]

- Baja Atenuación

Las fibras ópticas son el medio físico con menor atenuación. Por lo tanto se pueden establecer enlaces directos sin repetidores, de 100 a 200 Km. con el consiguiente aumento de la fiabilidad y economía en los equipamientos.

- Gran ancho de banda

La capacidad de transmisión es muy elevada, además pueden propagarse simultáneamente ondas ópticas de varias longitudes de onda que se traduce en un mayor rendimiento de los sistemas. De hecho 2 fibras ópticas serían capaces de transportar, todas las conversaciones telefónicas de un país, con equipos de transmisión capaces de manejar tal cantidad de información (entre 100 MHz/Km a 10 GHz/Km).

- Peso y tamaño reducidos

El diámetro de una fibra óptica es similar al de un cabello humano. Un cable de 64 fibras ópticas, tiene un diámetro total de 15 a 20 mm. y un peso medio de 250 Kg/km. Si comparamos estos valores con los de un cable de 900 pares calibre 0.4 (peso 4,000 Kg/Km y diámetro 40 a 50 mm) se observan ventajas de facilidad y costo de instalación, siendo ventajoso su uso en sistemas de ductos congestionados, cuartos de computadoras o el interior de aviones.

- Gran flexibilidad y recursos disponibles

Los cables de fibra óptica se pueden construir totalmente con materiales dieléctricos, la materia prima utilizada en la fabricación es el dióxido de silicio (SiO_2) que es uno de los recursos más abundantes en la superficie terrestre.

- Aislamiento eléctrico entre terminales

Al no existir componentes metálicos (conductores de electricidad) no se producen inducciones de corriente en el cable, por tanto pueden ser instalados en lugares donde existen peligros de cortes eléctricos.

- Ausencia de radiación emitida

Las fibras ópticas transmiten luz y no emiten radiaciones electromagnéticas que puedan interferir con equipos electrónicos, tampoco se ve

afectada por radiaciones emitidas por otros medios, por lo tanto constituyen el medio más seguro para transmitir información de muy alta calidad sin degradación.

- Costo y mantenimiento

El costo de los cables de fibra óptica y la tecnología asociada con su instalación ha caído drásticamente en los últimos años. Hoy en día, el costo de construcción de una planta de fibra óptica es comparable con una planta de cobre. Además, los costos de mantenimiento de una planta de fibra óptica son muy inferiores a los de una planta de cobre. Sin embargo si el requerimiento de capacidad de información es bajo la fibra óptica puede ser de mayor costo.

Las señales se pueden transmitir a través de zonas eléctricamente ruidosas con muy bajo índice de error y sin interferencias eléctricas.

Las características de transmisión son prácticamente inalterables debido a los cambios de temperatura, siendo innecesarios y/o simplificadas la ecualización y compensación de las variaciones en tales propiedades. Se mantiene estable entre -40 y 200 °C .

Por tanto dependiendo de los requerimientos de comunicación la fibra óptica puede constituir el mejor sistema.

2.1.4.2 Desventajas [3]

- El costo de la fibra sólo se justifica cuando su gran capacidad de ancho de banda y baja atenuación son requeridos. Para bajo ancho de banda puede ser una solución mucho más costosa que el conductor de cobre.

- La fibra óptica no transmite energía eléctrica, esto limita su aplicación donde el terminal de recepción debe ser energizado desde una línea eléctrica. La energía debe proveerse por conductores separados.
- Las moléculas de hidrógeno pueden difundirse en las fibras de silicio y producir cambios en la atenuación. El agua corroe la superficie del vidrio y resulta ser el mecanismo más importante para el envejecimiento de la fibra óptica.
- La fibra óptica posee una debilidad desde el punto de vista mecánico ya que es propensa a degradaciones debido a vibraciones o inflexiones que se apliquen sobre la misma.

2.2 Empalmes y conexiones de fibra óptica [4]

Para la instalación de sistemas de fibra óptica es necesario utilizar técnicas y dispositivos de interconexión como empalmes y conectores.

Los conectores son dispositivos mecánicos utilizados para recoger la mayor cantidad de luz. Realizan la conexión del emisor y receptor óptico.

En caso de que los núcleos no se empalmen perfecta y uniformemente, una parte de la luz que sale de un núcleo no incide en el otro núcleo y se pierde. Por tanto las pérdidas que se introducen por esta causa pueden constituir un factor muy importante en el diseño de sistemas de transmisión, particularmente en enlaces de telecomunicaciones de gran distancia.

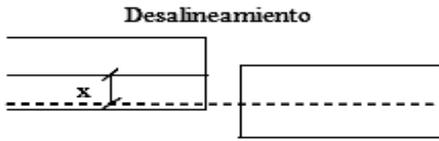
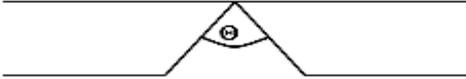
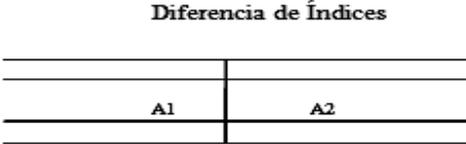
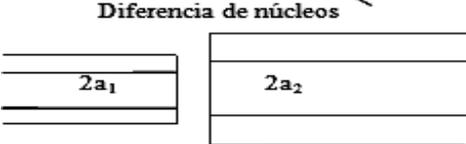
	MONOMODO	GRADUAL
 <p>Desalineamiento</p>	$x = 2 \mu m$ 0.74 dB	$x = 2 \mu m$ 0.06 dB
 <p>Inclinación de caras</p>	$\Theta = 1^\circ$ 0.21 dB	$\Theta = 1^\circ$ 0.03 dB
 <p>Diferencia de Índices</p>	$A_1 = 0.2 \%$ $A_2 = 0.25 \%$ 0.03 dB	$A_1 = 1 \%$ $A_2 = 0.8 \%$ 0.32 dB
 <p>Inclinación de ejes</p>	$\Theta = 1^\circ$ 0.4 dB	$\Theta = 1^\circ$ 0.15 dB
 <p>Diferencia de núcleos</p>	$2a_1 = 10 \mu m$ $2a_2 = 8 \mu m$ 0.02 dB	$2a_1 = 50 \mu m$ $2a_2 = 48 \mu m$ 0.15 dB

Figura # 6. Errores de empalmes de fibra óptica. Fuente: [4]

Los empalmes son las uniones fijas para lograr continuidad en la fibra. En las fibras monomodo los problemas de empalme se encuentran principalmente en su pequeño diámetro del núcleo $D_n = 10\mu m$, esto exige contar con equipos y mecanismos de alineamiento de las fibras con una mayor precisión.

Las pérdidas de acoplamiento se presentan en las uniones de: Emisor óptico a fibra, conexiones de fibra a fibra y conexiones de fibra a fotodetector.

Las pérdidas de unión son causadas frecuentemente por una mala alineación lateral, mala alineación de separación, mala alineación angular, acabados de superficie imperfectos y diferencias ya sea entre núcleos o diferencia de índices, como los indicados en la figura # 6.

2.2.1 Técnicas de empalme [4]

Existen fundamentalmente 2 técnicas diferentes de empalme que se emplean para unir permanentemente entre sí fibras ópticas.

La primera es el empalme por fusión que actualmente se utiliza en gran escala, y la segunda el empalme mecánico.

2.2.1.1 Empalme por fusión [4]

Se realiza fundiendo el núcleo, siguiendo las etapas de:

- Preparación y corte de los extremos: Con una cortadora especializada, se hacen los cortes en los extremos de empalme con una medida específica requerida para poder ser colocados en la máquina empalmadora.
- Alineamiento de las fibras: Este procedimiento milimétrico es realizado por la empalmadora.
- Soldadura por fusión: Primero se realiza una prefusión con una descarga de baja energía para eliminar impurezas y la formación de burbujas. A continuación, las fibras se acercan, se alinean y se realiza la fusión propiamente dicha. Por último, se prueba la atenuación.
- Protección del empalme: Se utilizan mangas individuales con una guía metálica para evitar el doblez de la fibra en este punto. Luego de esto se coloca un material termo encogible que protege el empalme de agentes externos.

2.2.1.2 Empalme mecánico [4]

Este tipo de empalme se usa en el lugar de la instalación donde el desmontaje es frecuente, es importante que las caras del núcleo de la fibra óptica coincidan exactamente. Consta de un elemento de auto alineamiento y sujeción de las fibras y de un adhesivo adaptador de índice que fija los extremos de las fibras permanentemente.

Después de realizado el empalme de la fibra óptica se debe proteger con:

- manguitos metálicos
- manguitos termoretráctiles
- manguitos plásticos.

En todos los casos para el sellado del manguito se utiliza adhesivo o resina de secado rápido.

2.2.2 Tipos de conectores [5] [6] [7]

Estos elementos se encargan de conectar las líneas de fibra a un elemento, ya puede ser un transmisor o un receptor. Los tipos de conectores disponibles son muy variados, entre los que podemos encontrar se hallan los siguientes:

- Bicónico, Son los primeros modelos de conector, enroscables y fabricados por completo con cuerpo y ferrule de diversos materiales plásticos o polímeros.



Figura # 7. Conector Biconico. Fuente: Autor.

- FC (Ferrule Connector), enroscables y fabricados con cuerpo metálico y ferrule cerámica.



Figura # 8. Conector FC. Fuente: [6]

- LC (Lucent Connector o Local Connector), con cuerpo plástico de baja dureza y ferrule cerámica. La fijación al adaptador tiene lugar mediante un sistema de clip.



Figura # 9. Conector LC. Fuente: [6]

- SC (Subscriber Connector o Standard Connector), con cuerpo plástico y mecanismo Push-Pull para proteger la ferrule cerámica. La fijación al adaptador tiene lugar mediante un sistema de clip.



Figura # 10. Conector SC. Fuente: [6]

- ST (Estándar Típe), estos son de de posición fija, fabricados con cuerpo metálico y ferrule cerámica



Figura # 11. Connector ST. Fuente: [6]

2.3. OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) [8]

Para obtener una representación visual de las características de atenuación de una fibra óptica a lo largo de toda su longitud se utiliza un reflectómetro óptico en el dominio en tiempo (OTDR). El OTDR dibuja esta característica en su pantalla de forma gráfica, mostrando las distancias sobre el eje X y la atenuación sobre el eje Y. A través de esta pantalla se puede determinar información tal como la atenuación de la fibra, las pérdidas en los empalmes, las pérdidas en los conectores y la localización de las anomalías.

El ensayo mediante el OTDR es el único método disponible para determinar la localización exacta de las roturas de la fibra óptica en una instalación de cable óptico ya instalado y cuyo recubrimiento externo no presenta anomalías visibles. Es el mejor método para localizar pérdidas motivadas por

empalmes individuales, por conectores, o por cualquier anomalía en puntos concretos de la instalación de un sistema. Permite determinar si un empalme está dentro de las especificaciones o si se requiere rehacerla.

Cuando está operando el OTDR envía un corto impulso de luz a través de la fibra y mide el tiempo requerido para que los impulsos reflejados retornen de nuevo al OTDR. Conociendo el índice de refracción y el tiempo requerido para que lleguen las reflexiones, el OTDR calcula la distancia recorrida del impulso de la luz reflejada.

2.4 Sistemas de transmisión PDH [9] [10]

La Jerarquía Digital Plesiócrona, conocida como PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), es una tecnología usada en telecomunicación tradicionalmente para telefonía que permite enviar varios canales telefónicos sobre un mismo medio (ya sea cable coaxial, radio o microondas) usando técnicas de multiplexación por división de tiempo y equipos digitales de transmisión. También puede enviarse sobre fibra óptica, aunque no está diseñado para ello.

El término *plesiócrono* se deriva del griego *plesio*, cercano y *chronos*, tiempo, y se refiere al hecho de que las redes PDH funcionan en un estado donde las diferentes partes de la red están *casi*, pero *no completamente* sincronizadas. La tecnología PDH, por ello, permite la transmisión de flujos de datos que, nominalmente, están funcionando a la misma velocidad (bit rate), pero permitiendo una cierta variación alrededor de la velocidad nominal gracias a la forma en la que se forman las tramas.

En PDH las señales de tasa más baja son bits intercalados dentro de la jerarquía. Las técnicas de “relleno” (stuffing) son usadas para asegurar que las señales totales pueden ser multiplexadas en el terminal distante sin requerir un reloj común.

Para crear tasas de bits más grandes se usan multiplexaciones secundarias. Las multiplexaciones de orden más grande usan bits de intercalado para las cadenas de bits de entrada dentro de una cadena de orden mayor. Los multiplexores tienen que sincronizar los arreglos de cadena de datos de entrada tal que ellos puedan ser multiplexados dentro de una cadena de bits de orden mayor. Cada cadena de E1 o T1 es esencialmente libre en su recorrido porque no está limitada a una señal de reloj central. La tasa de bits nominal E1 es 2048 Kbit/s +/-50 ppm.

Bits especiales de sincronización son usados para decir al demultiplexor en el otro terminal que bits son reales y cuales son rellenos, así que los bits de relleno pueden ser descartados. Además de los bits de relleno un paquete de palabra de alineación es agregado para crear un paquete total de 8448 Kbps. La tasa más alta de 34 Mbps y 140 Mbps son creados en un modo similar multiplexando cuatro de las señales con más baja velocidad, creando de esta forma la llamada montaña del Mux.

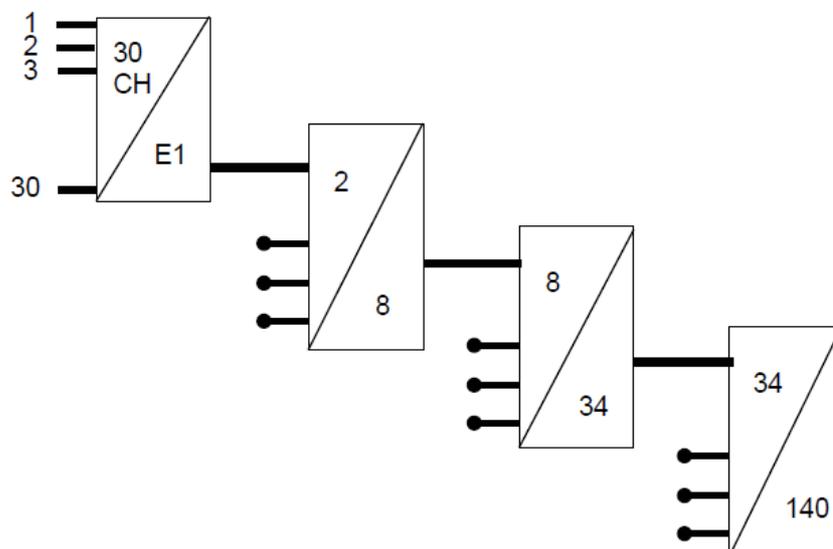


Figura # 12. Montaña del Mux. Fuente: [10]

Una comparación de tramas PDH definida en Norte América y Europa es presentada a continuación:

PDH (North America)	Bit Rate	PDH(ITU)	Bit Rate
T1(DS 1)	1.544 Mbits/s	E1	2.048 Mbit/s
T2(DS 2)	6.312 Mbits/s	E2	8.448 Mbit/s
T3(DS 3)	44.736 Mbits/s	E3	34.368 Mbit/s
T4(DS 4)	139.264 Mbits/s	E4	139.264 Mbit/s

Tabla # 1. Comparación tramas PDH utilizada en América y Europa.

Fuente: [10]

2.5 Sistemas de transmisión SDH [10]

La jerarquía digital síncrona SDH (Synchronous Digital Hierarchy), se puede considerar la revolución de los sistemas de transmisión, como consecuencia de la utilización de la fibra óptica como medio de transmisión. Esta surge por la necesidad de sistemas más flexibles y que soporten anchos de banda elevados. La jerarquía SDH se desarrolló en EE. UU. bajo el nombre de SONET o ANSI T1X1 y posteriormente el CCITT (Hoy UIT-T) en 1989 publicó una serie de recomendaciones donde quedaba definida con el nombre de SDH.

Uno de los objetivos de esta jerarquía estaba en el proceso de adaptación del sistema PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), ya que el nuevo sistema jerárquico se implantaría paulatinamente y debía convivir con la jerarquía plesiócrona instalada. Ésta es la razón por la que la UIT-T normalizó el proceso de transportar las antiguas tramas en la nueva. La trama básica de SDH es el STM-1 (Synchronous Transport Module level 1), con una velocidad de 155 Mbps.

Cada trama va encapsulada en un tipo especial de estructura denominado contenedor. Una vez encapsulados se añaden cabeceras de control que identifican el contenido de la estructura (el contenedor) y el conjunto, después de un proceso

de multiplexación, se integra dentro de la estructura STM-1. Los niveles superiores se forman a partir de multiplexar a nivel de Byte varias estructuras STM-1, dando lugar a los niveles STM-4, STM-16 y STM-64.

2.5.1 Estructura de la Trama SDH [10]

STM-1 (Modulo de transporte Síncrono; Primer Nivel): La señal STM-1 es el elemento básico del SDH, comprende 2430 bytes de información. Esto está distribuido en 270 columnas por 9 filas. Dentro de ellos están contenidos la carga útil del STM-1, los punteros y las cabeceras de sección.

La tasa de transmisión básica de SDH estándar es 155,520 Mbps (STM-1). La trama STM-1 consiste en 2430 bytes, los cuales corresponden con una duración de 125 ms. También están definidas tres tasas de bits de mayor velocidad, cuyo valor de transmisión se define mediante el uso de un factor de multiplicación de cuatro, como son 622,08 Mbps (STM-4), 2488,32 Mbps (STM-16) y 9953,28 Mbps (STM-64).

Una trama STM-1 pueden dividirse en tres áreas principales:

- Sección de la cabecera extra SOH (72 bytes)
- Puntero de AU (9 bytes).
- Carga Útil (2349 bytes).

Las primeras nueve columnas contienen únicamente información de gestión y se distribuyen en tres campos:

- Sección de regeneración (RSOH), filas 1-3 [27 bytes]
- Puntero de la unidad administrativa, fila 4 [9 bytes]
- Sección de multiplexación (MSOH), filas 5-9 [45 bytes]

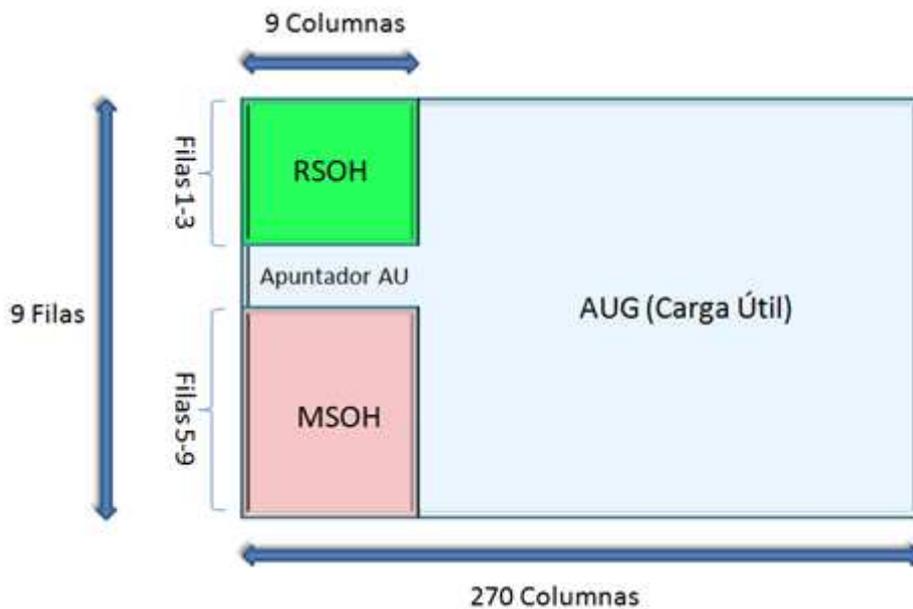


Figura # 13. Estructura de una trama SDH. Fuente: [10]

2.5.1.1 Sección de Cabecera Extra [10]

El SOH es usado en el sistema de transporte individual para permitir el monitoreo de errores, el monitoreo de alarmas y la administración de servicios de red. Este contiene dos partes: 1 sección de regeneración de cabecera extra (RSOH) y una sección de multiplexación de la cabecera extra (MSOH). El RSOH termina en cada regenerador, mientras que el MSOH termina sólo en el multiplexor y no es afectado por el regenerador. Esto facilita el monitoreo del camino entre los multiplexores separadamente de las secciones de regeneración individual.

En el RSOH hay tramas de bytes (A1, A2), un canal de regeneración de datos para administración (D1 a D3), un canal físico del orden de regeneración (E1), y un canal del uso de contingencia (F1). En el MSOH hay un canal de datos multiplexados para administración (D4 al D12), un canal físico del orden de multiplexación (E2), un interruptor de protección de la sección de multiplexación

(K1, K2), bytes de monitorización de error intercalados con paridad (B1, B2) y un byte de S1 fue definido para status de sincronización.

2.5.1.2 Puntero [10]

Un sistema sincrónico se basa en el hecho de que cada reloj esta en sincronía de fase y frecuencia con el siguiente. En la práctica eso es imposible de alcanzar; por lo tanto la desviación de fase y frecuencia ocurrirá. En una red, el reloj de frecuencia es extraído de la señal de línea, sin embargo las variaciones de fase ocurrirán debido a vibraciones acumuladas sobre la red. En la interfaz de red, las variaciones de frecuencia ocurrirán y lo que SDH hace para vencer este problema es usar punteros o “pointer” para las direcciones del inicio del contenedor en la trama. El puntero AU-4 muestra donde el VC-4 empieza en la trama. En los VC-4 están los punteros TU que muestran donde comienzan los VCs de orden inferior (tales como VC-12), relativas a la posición de VC-4. El puntero AU-4 está compuesto de 3 bytes de H1 a H3. El valor real del puntero está contenido en H1 y H2, para justificación negativa está reservado H3. El valor inicial del puntero corresponde a la diferencia entre la unidad contribuyente de llegada y el vacío en la trama (Ver figura # 14).

2.5.1.3 Carga Útil [10]

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

Los tributarios plesiócronicos están mapeados en un contenedor de tamaño apropiado, y un número de bytes conocido como cabecera de direcciones (POH) se añade al mismo para formar el contenedor virtual (VC) en el que se basa la

trama. La cabecera de direcciones proporciona información para ser usado en la gestión extremo a extremo de un camino síncrono. La información de la cabecera de direcciones asociado con un VC-1/VC-2 es diferente a la recogida en la cabecera asociada a los VC-3/VC-4.

La cabecera de direcciones para contenedores VC-4 está ubicada en la primera columna de las nueve filas por las 261 columnas de la estructura VC-4. Para los VC-3, la cabecera de direcciones está colocada en la primera columna de las nueve filas para la estructura de 85 columnas.

2.5.2 Estructura SDH [10]

Para tener un estándar internacional confiable todas las interfaces con tasas de bits PDH deben ser acomodadas en la estructura SDH. Esto es hecho permitiendo a varias interfaces ser mapeadas dentro de la trama SDH, como se muestra en la figura 1.

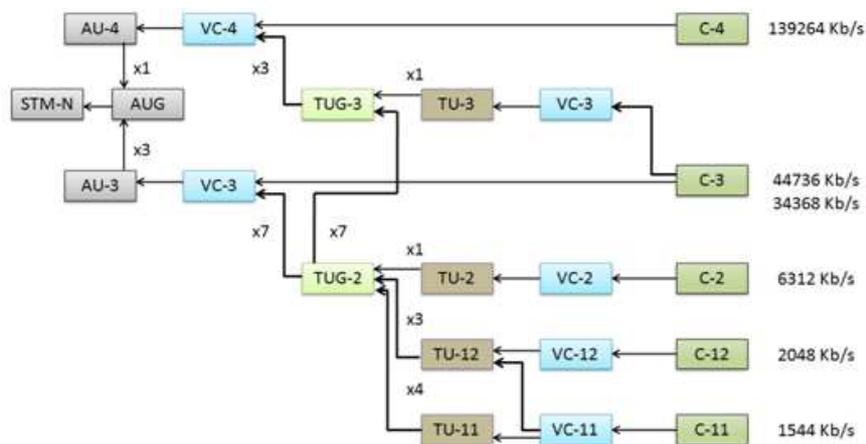


Figura # 14. Mapa de la estructura SDH. Fuente: [10]

La señal original PDH debe ser de 2048 Kbps con una variación de 50 ppm. Esto es insertado dentro de un contenedor (C-12) donde la justificación toma lugar usando técnicas de relleno clásicas. Esto es hecho compensando las variaciones de frecuencias permitidas en las tasas PDH y SDH. El relleno de bits

asegura que las variaciones de 50 ppm en la señal PDH no resulten en errores cuando se desmapea en el destino final.

El contenedor es entonces colocado dentro de un contenedor virtual (VC-12) donde se agrega una cabecera extra. Esta cabecera extra se transporta con la señal, esto permite mantener y supervisar la señal a través de la red. Esto incluye detección de errores, indicaciones de alarma y una etiqueta de señal. Se agrega un puntero al contenedor virtual para formar una unidad tributaria (ITU-12). Esto permite al sistema SDH compensar las diferentes fases a través de la red o entre redes.

La tasa de bits del tributario contenida dentro de cada contenedor virtual es mostrada a continuación, tanto para E1 como para T1.

Contenedor Virtual	Tributary Rate
VC-11	T1 (1.544 Mbits)
VC-12	E1 (2.048 Mbits)
VC-3	E3 (34.368 Mbits) o T3 (44.736 Mbits)
VC-4	E4 (139.264Mbits) o ATM (149.76Mbits)

Tabla # 2. Tasas de Bit soportados por cada recipiente virtual. Fuente: Autor.

2.5.3 Sincronización [10]

Los sistemas SDH pueden requerir equipos de sincronización externa pero deben mantener los estándares establecidos por la UIT.

Se requiere sincronización externa en las redes SDH, aunque a menudo esto parece ser una contradicción. Es importante darse cuenta que en este contexto el sincronismo no significa que las señales de llegada están sincronizadas. Se refiere a la posición del contenedor virtual dentro de la trama de llegada ubicada

en una posición conocida para propósitos de multiplexación. El ajuste del puntero que soluciona el problema de sincronización interna del multiplexor causa una gran cantidad de *jitter* sobre los tributarios. Si la diferencia de los relojes en el perímetro de la red es significativa, pérdidas de ajuste del puntero podrían ocurrir y los objetivos del *jitter* serían excedidos. Algunos equipos pueden también no tolerar el paso natural de la fase *jitter* como ocurre al ajustar el puntero. Para evitar desplazamientos del puntero se necesita asegurar que los relojes de los elementos de la red no vayan distantes uno de otro. Para lograr precisión en una red es necesaria la intervención de un reloj primario.

La UIT especifica que un reloj de referencia primario (PRC) debería tener una precisión no mayor a una parte en 10^{11} (10 elevado a la 11) comparado con el Tiempo Universal Coordinado (UTC), que es la referencia de tiempo absoluta internacional. Para lograr esta precisión se requiere un reloj de Cesio.

2.6 Equipo SDH AT&T SLM-2000-16 [11]

El sistema de transmisión SLM – 2000 realiza la transmisión óptica por la línea en conformidad con la Jerarquía Digital Síncrona (SDH).

El sistema SLM – 2000 – 16 es un sistema de transmisión de alta velocidad que transporta señales STM – 16. Una señal STM – 16 es una señal óptica de línea para alta velocidad de 2.5 Gbps.

En el sistema se utilizan las siguientes señales:

- Señales de baja velocidad (LS)

140 Mbps Una señal eléctrica plesiócrona de 140 Mbps.

STM - 1e Una señal eléctrica síncrona de 155 Mbps.

- Señales de alta velocidad (HS)

STM – 16 Una señal óptica síncrona de 2.5 Gbps.

Estas señales son manejadas por unidades de transmisión de baja y alta velocidad.

2.6.1 Unidades de transmisión de baja velocidad

- TPU – 140

Esta Unidad de Puerto Tributario es una interfaz dual de 139.264 Mbps (140 Mbps). Esta unidad contiene dos circuitos de interfaz tributarios bidireccionales.

En la dirección de transmisión se realizan las siguientes funciones:

- Eliminación de código de lineal.
- Recobrar la señal del reloj.
- Sincronizar la frecuencia de la señal entrante al reloj del terminal local.
- Formatear la señal en una señal STM – 1 aleatorizada en una trama síncrona la cual se envía al transmisor de alta velocidad.

En la dirección de recepción, la TPU formatea la señal de trama síncronamente aleatorizada en una señal codificada en CMI.

- TPU – 140 & 155

Es una unidad de interfaz dual configurable a 140 Mbps / STM – 1e. Esta unidad contiene dos circuitos de interfaz tributarios bidireccionales. Los dos circuitos tiene que ser configurados del mismo modo: como un interfaz tributario de 140 Mbps ó un interfaz tributario STM – 1e.

Las conexiones de entrada y salida de la señal de interfaz para ambas señales son físicamente comunes en la cara del panel de conexión (back plane), es decir, la conmutación tributaria ocurre en la propia central.

2.6.2 Unidades de transmisión de alta velocidad

- LTX

Este Transmisor de Línea, es la interfaz de línea óptica de alta velocidad situada en la dirección de transmisión.

La unidad realiza las siguientes funciones:

- Sincroniza la trama de la señal STM – 1 de baja velocidad entrantes.
- Lleva a cabo la inserción de la cabecera de sección y de línea.
- Se encarga de la multiplexación.
- Lleva a cabo la conversión de la señal de eléctrica a óptica.

- LRX

Este Receptor de Línea es la interfaz de línea óptica de alta velocidad situado en la dirección de recepción.

La unidad realiza las siguientes funciones:

- Conversión de óptica a eléctrica.
- Recuperación del reloj.
- Demultiplexación.
- Extracción de la cabecera de sección.

Para las aplicaciones de transmisión normal punto a punto, el LRX pasa el resultado de las transmisiones STM – 1 demultiplexadas a las unidades de baja velocidad. La unidad también proporciona el generador de temporización con un reloj recuperado.

2.6.3 Configuración del Terminal de Línea

El sistema puede ser usado bajo la dos configuraciones básicas:

- Terminal de Línea 0x1

Esta configuración proporciona una transmisión bidireccional a una velocidad de línea STM – 16. No hay protección disponible.

Cada TPU contiene 2 interfaces tributarios bidireccionales.

El acceso eléctrico a tributarios se hace vía conectores que están localizados en el panel de interconexión.

En la configuración del terminal de línea 0x1, se dispone de 8 slots para las unidades de interfaz de tributario, proporcionando un máximo de 16 canales de tributario.

- Terminal de Línea 1+1

El terminal de línea 1+1 funciona con una configuración de protección de línea. La señal para ser transportada se duplica y se envía en dos enlaces ópticos diferentes. La protección de línea de alta velocidad (HS) se realiza por medio de un segundo par de transmisor y receptor (HS).

En el lado del receptor se supervisa el funcionamiento de ambas señales. Uno de estos enlaces se toma como el camino actual de transmisión. En caso de degradación del servicio, la señal se conmuta sobre la otra ruta. La selección entre los dos receptores se hace en la TPUs.

Esta configuración provoca una transmisión bidireccional en la frecuencia de línea STM – 16, con un máximo de 16 canales tributarios.

Cada TPU contiene dos interfaces tributarios bidireccionales por unidad. El acceso tributario eléctrico se hace por medio de conectores localizados en el panel de interconexión (ICP).

La configuración del terminal de línea 1+1 se puede también configurar con una doble TGU. En este caso ambos transmisores y todas las TPUs reciben dos relojes de 155 MHz (uno de cada TGU).

CAPITULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REDUNDANCIA A DISTANCIA BAJO UNA PLATAFORMA SDH ENTRE LOS NODOS MAIQUETÍA LOCAL Y CATIA LA MAR

3.1 Topología original del enlace Catia la Mar – Maiquetía Local para equipos PDH (planta interna)

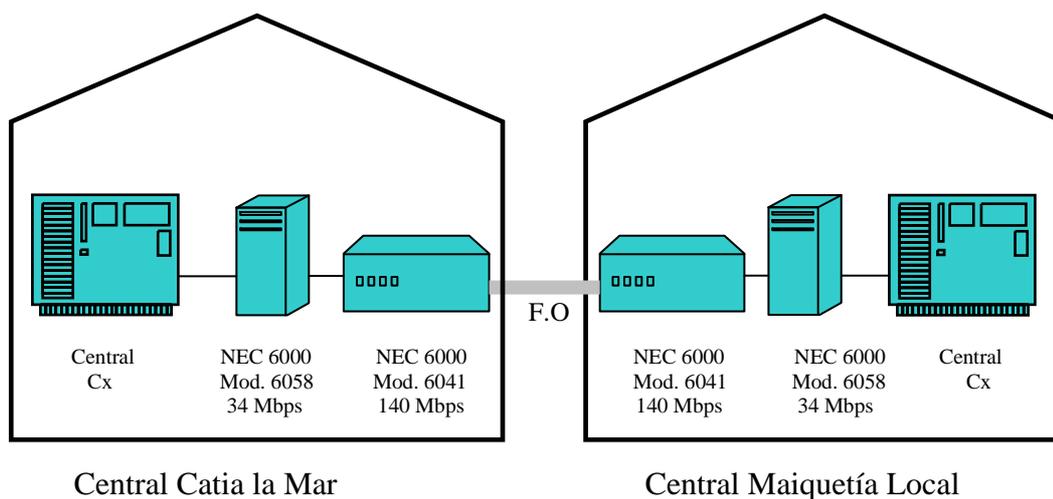


Figura # 15. Topología original equipos PDH. Fuente: Autor.

Las Centrales Catia la Mar y Maiquetía Local comparten una topología de planta interna idéntica por lo que en ambas encontramos una Central que en adelante se llamará Cx, un equipo NEC 6000 modelo 6058 de 34 Mbps el cual trabaja bajo señales de entrada eléctricas y un equipos PDH NEC 6000 modelo 6041 de 140 Mbps.

El funcionamiento del sistema es el siguiente: El equipo NEC 6000 modelo 6058 posee 16 entradas de 2 Mbps y salidas de 34 Mbps. Dicho equipo multiplexa las entradas eléctricas de 2 Mbps a salidas de 34 Mbps. Posteriormente los equipo NEC 6000 modelo 6041 de 140 (el cual sólo soporta hasta cuatro entradas de 34 Mbps), recibe dichas señales bien sea vía óptica o eléctrica (ya que el NEC 6000 modelo 6058 posee salidas D4 o micro coaxial dependiendo de la tarjeta que se use) y las multiplexan a un paquete de 140 Mbps. Posteriormente por un hilo de fibra óptica es transmitido hasta el lugar de recepción, donde ocurre el proceso de demultiplexación de el paquete de 140 Mbps.

Evidentemente la capacidad máxima de transmisión del equipo PDH es de 140 Mbps, lo que constituye una limitación considerable tomando en cuenta el crecimiento exponencial de la población y de la demanda de servicios.

3.2 Topología original del enlace Catia la Mar – Maiquetía Local para equipos DSLM (planta interna)

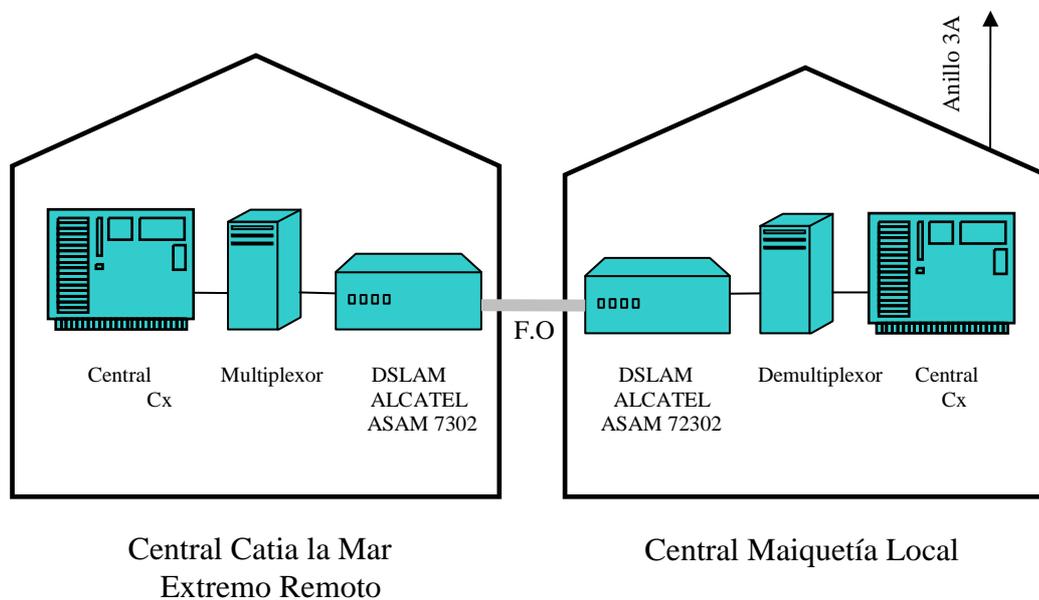


Figura # 16. Topologías original equipos DSLAM. Fuente: Autor.

Originalmente se tenía en la central de Catia la Mar un equipo DSLAM Alcatel ASAM 7302, el cual solo estaba trabajando con una conexión punto a punto con un DSLAM de la misma marca y modelo en la central de Maiquetía Local. Este equipo DSLAM de Catia la Mar carecía de una redundancia por lo que, era necesario generar una ruta física distinta a la existente para dar una redundancia a través de una ruta alterna, en el momento en que ocurriera un corte de fibra en el tramos directo Catia la Mar – Maiquetía Local.

3.3 Topología original del enlace Catia la Mar – Maiquetía Local para equipos PDH (planta externa)

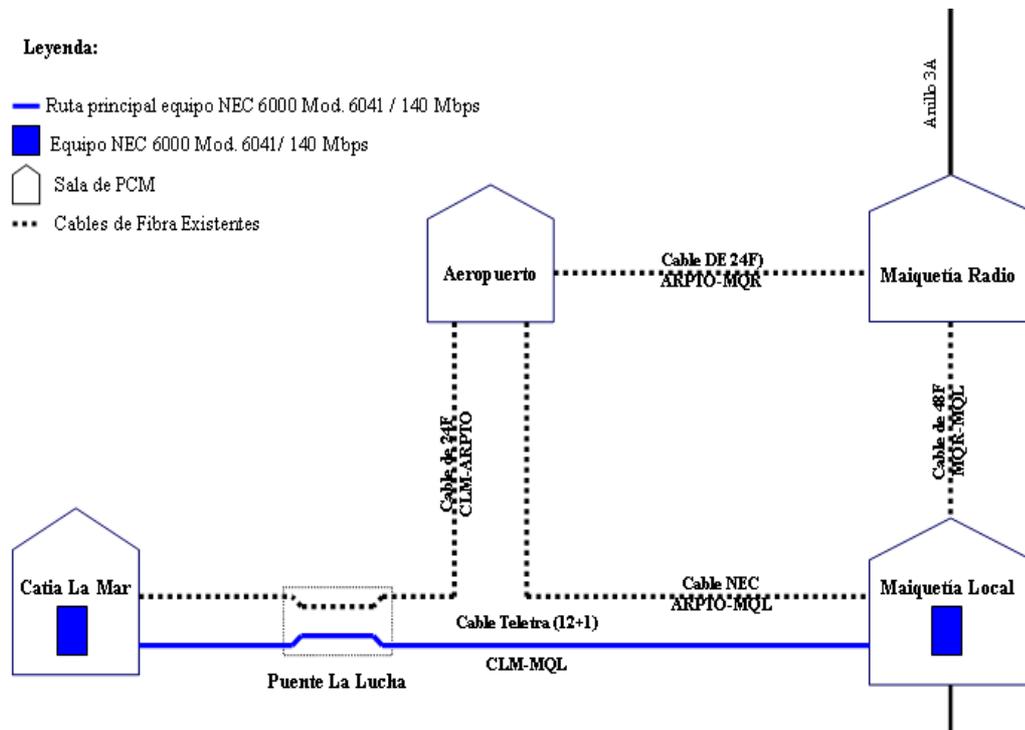


Figura # 17. Topología original enlace equipos PDH. Fuente: Autor.

Como anteriormente se mencionó, originalmente existía un equipo PDH NEC 6000 modelo 6041 con capacidad de 140 Mbps, el cual sólo se encontraba operando por la ruta principal. En este caso no se contaba con una redundancia a distancia ya que las tarjetas de respaldo de dicho equipo estaban siendo utilizadas

entre las centrales de Maiquetía Local y Maiquetía Radio para poder prestarle servicio al anillo 3A que pasa por estas localidades. Cabe destacar que no existe hoy día repuestos para dichos equipos lo que dificultaba en gran medida poner a operar dicha plataforma con una ruta principal y una ruta de redundancia a través de una ruta alterna.

3.4 Topología original del enlace Catia la Mar – Maiquetía Local para equipos DSLAM Alcatel ASAM 7302 (planta externa)

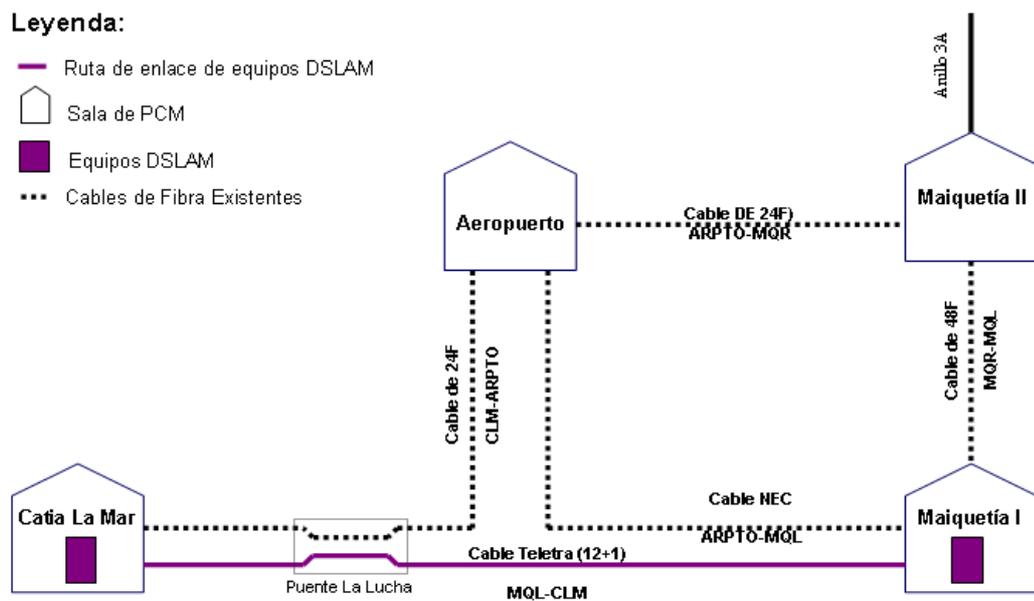


Figura # 18. Topología original de enlace equipos DSLAN. Fuente: Autor

Originalmente existía un par de fibras entre Catia la Mar y Maiquetía Local, que servía como único medio de transmisión entre los equipos DSLAM Alcatel ASAM 7302 de dichas locaciones. Debido a esta situación, cuando ocurría un corte en este par de fibras, se perdía el servicio de datos prestado en los alrededores de estas locaciones.

Debido a la poca confiabilidad, carencia de redundancia y a la condición de baja velocidad de transmisión del sistema PDH operante, así como también la falta de redundancia a través de una ruta alterna para el enlace de los equipos DSLAM, se hizo imperante implementar una nueva plataforma de transmisión con mayor capacidad y confiabilidad para brindar una mayor calidad de servicio. Por esto fue necesario generar una ruta de redundancia para ambas plataformas así como implementar un nuevo sistema de transmisión SDH que permitió ampliar las capacidades del sistema PDH que se encontraba en funcionamiento.

3.5 Generación de ruta de respaldo

3.5.1 Análisis y diseño de ruta del tendido para redundancia

En base al cableado externo existente entre las zonas de Catia la Mar, Aeropuerto, Maiquetía Radio y Maiquetía Local se procedió a diseñar la ruta más factible y eficiente para cerrar el anillo entre dichas localidades, el cual dará redundancia al sistema SDH a instalar. Por otra parte y dentro del mismo diseño, se buscó crear una ruta para generar un respaldo para los equipos DSLAM la cual podría ser la misma que la generada para el sistema SDH. Esto arrojó dos posibles rutas para poder cerrar el anillo, las cuales se presentan en color naranja y azul en el siguiente gráfico:

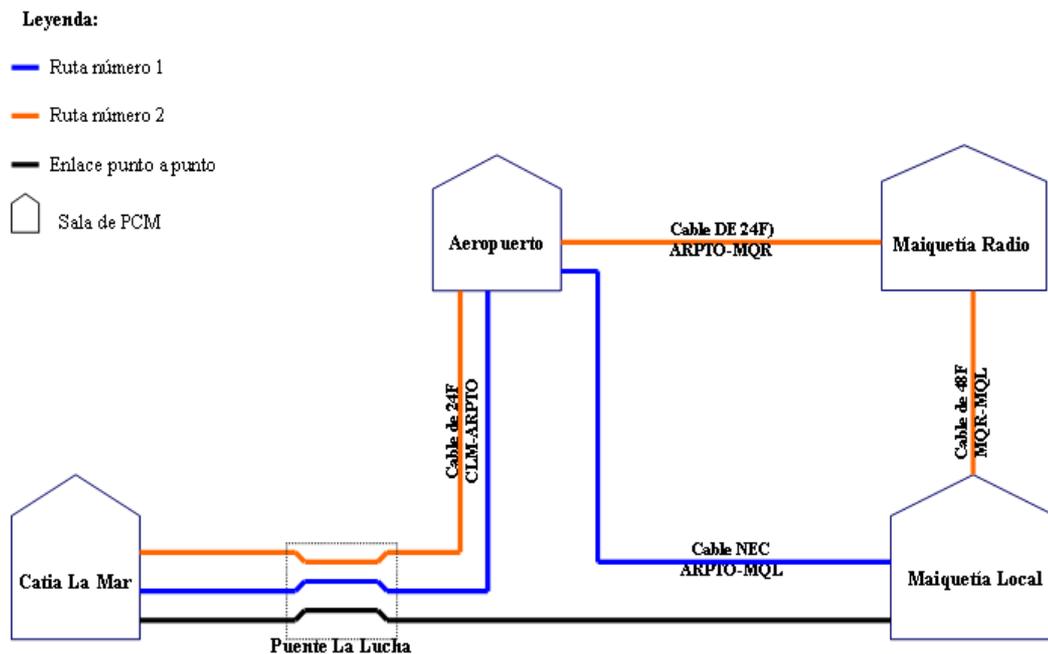


Figura # 19. Posibles rutas de redundancia. Fuente: Autor.

Para diseñar dicha ruta se buscó optimizar parámetros como atenuación en las fibras, cantidad de conectores a utilizar así como también la disponibilidad de los hilos necesarios para la implementación del sistema.

Debido a las bondades de la fibra óptica monomodo como medio de transmisión y a la propagación de información por medio de un haz de luz, para diseñar un enlace de fibra con optimas prestaciones, no es necesario tomar en cuenta parámetros como inducción eléctrica sobre el medio y ancho de banda (en el caso de distancias cortas como las de este proyecto) ya que el ancho de banda es inversamente proporcional a la distancia, lo que indica que a distancias cortas la componente de degradación debido la longitud de la fibra es despreciable [12].

Por lo anteriormente expuesto se hace evidente que la mejor ruta en este caso es la que pasa por menos locaciones porque así se evita mayor atenuación por conexión entre los ODF's. En este caso se trata de la ruta en color azul que se

puede ver la figura # 19.

3.5.2 Determinación de fibras disponibles

Luego de trazar las posibles rutas, se hizo una inspección en todas las centrales por las cuales pasaría el tendido que conformaría la redundancia tanto para la plataforma SDH como para los equipos DSLAM con la finalidad de verificar e identificar cuales hilos estaban disponibles para generar el anillo ínter urbano. Esto se llevó a cabo verificando en los ODF's de cada locación, correspondientes a el punto remoto a enlazar, que hilos de fibra estaban en punta.

En dichas inspecciones se encontró lo siguiente:

3.5.2.1 Tramo Catia la Mar - Aeropuerto

Se detectó la disponibilidad de 4 hilos de fibra, de los cuales dos serían para la redundancia de los equipos SDH y dos para la ruta de respaldo de los equipos DSLAM. Los números de dichas fibras son: 9, 10, 11 y 12.

3.5.2.2 Tramo Aeropuerto - Maiquetía Local

Se encontró que no existía ninguna fibra disponible ya que debido a la gran cantidad de datos que maneja el Aeropuerto todas las fibras están copadas.

3.5.2.3 Tramo Aeropuerto - Maiquetía Radio

Se detectó la disponibilidad de 4 hilos de fibra, los cuales serían distribuidos de la misma manera en la que se menciona el punto 3.5.2.1. Los números de dichas fibras son: 7, 10, 12 y 13.

3.5.2.4 Tramo Maiquetía Radio - Maiquetía Local

Se detectó la disponibilidad 4 hilos de fibra los cuales serían distribuidos de la misma manera en la que se menciona el punto 3.5.2.1. Los números de dichas fibras son: 7, 9, 11 y 12.

Debido a que la disponibilidad de fibras es una limitante para tomar la ruta optima, se tomo como única ruta factible la que pasa por los puntos Catia la Mar, Aeropuerto, Maiquetía Radio y Maiquetía Local la cual se puede ver en color naranja en la figura # 19.

3.6 Pruebas en las fibras seleccionadas

Luego de seleccionar la ruta final tomando en cuenta tanto las posibles rutas como la disponibilidad de hilos, se procedió a realizar pruebas al tendido que se encontraba en punta entre las diferentes localidades para verificar la calidad de la fibra en dichos tramos.

3.6.1 Pruebas de reflectometría

Con un equipo marca EXFO modelo FTB-200 y un equipo marca ANRITSU modelo MW9076B se generó la reflectometría de todos los hilos de fibra que se encontraban en punta entre las distintas localidades de la ruta seleccionada, midiendo las atenuaciones de los diferentes tramos, puntos de empalme y conectores.

Los resultados de dichas reflectometrías se muestran a continuación:

3.6.1.1 Tramo Catia la Mar - Aeropuerto

En la bandeja # 1

Fibra # 9

Longitud total: 3.329 Km. Atenuación total: 0.889 dB.

Fibra # 10

Longitud total: 3.289 Km. Atenuación total: 1.075 dB.

Fibra # 11

Longitud total: 3.329 Km. Atenuación total: 0.875 dB.

Fibra # 12

Longitud total: 3.329 Km. Atenuación total: 1.083 dB.

El detalle de estas reflectometrías se puede ver en el ANEXO 1.

3.6.1.2 Tramo Aeropuerto - Maiquetía Radio

En la bandeja # 2

Fibra # 7

Longitud total: 7.789 Km Atenuación total: 3.106 dB

Fibra # 10

Longitud total: 7.789 Km Atenuación total: 3.105 dB

Fibra # 12

Longitud total: 7.789 Km. Atenuación total: 3.115 dB

Fibra # 13

Longitud total: 7.789 Km. Atenuación total: 3.115 dB

El detalle de estas reflectometrías se puede ver en el ANEXO 2.

3.6.1.3 Tramo Maiquetía Radio - Maiquetía Local

En la bandeja # 1

Fibra # 7

Longitud total: 0.573 Km Atenuación total: 0.239 dB

Fibra # 9

Longitud total: 0.573 Km Atenuación total: 0.250 dB

Fibra # 11

Longitud total: 0.572 Km. Atenuación total: 0.327 dB

Fibra # 12

Longitud total: 0.573 Km. Atenuación total: 0.303 dB

El detalle de estas reflectometrías se puede ver en el ANEXO 3.

3.7 Pruebas de potencia punto a punto

Con un equipo marca FIS el cual consta de dos terminales, uno de transmisión y uno de recepción, se procedió a enviar una potencia (que en adelante se llamará potencia de Tx) de 0 dBm y en el extremo remoto de la fibra se midió la potencia de recepción (que en adelante se llamará potencia Rx). Estas pruebas punto a punto se efectuaron para todos los tramos obteniendo lo siguiente:

3.7.1 Tramo Catia la Mar - Aeropuerto

En la bandeja # 1

Fibra # 9

Potencia de TX: 0 dB Potencia de Rx: - 1.399 dBm.

Fibra # 10

Potencia de TX: 0 dB Potencia de Rx: - 1.475 dBm.

Fibra # 11

Potencia de TX: 0 dB Potencia de Rx: - 1.273 dBm

Fibra # 12

Potencia de TX: 0 dB Potencia de Rx: - 1.542 dBm.

3.7.2 Tramo Aeropuerto - Maiquetía Radio

En la bandeja #2:

Fibra # 7

Potencia de TX: 0 dB Potencia de Rx: - 3.726 dBm

Fibra # 10

Potencia de TX: 0 dB Potencia de Rx: - 3.547 dBm

Fibra # 12

Potencia de TX: 0 dB Potencia de Rx: - 3.631 dBm

Fibra # 13

Potencia de TX: 0 dB Potencia de Rx: - 3.598 dBm

3.7.3 Tramo Maiquetía Radio - Maiquetía Local

En la bandeja # 1

Fibra # 7

Potencia de TX: 0 dB Potencia de Rx: - 0.308 dBm.

Fibra # 9

Potencia de TX: 0 dB Potencia de Rx: - 0.352 dBm.

Fibra # 11

Potencia de TX: 0 dB Potencia de Rx: - 0.602 dBm

Fibra # 12

Potencia de TX: 0 dB

Potencia de Rx: - 0.578 dBm

3.8 Interconexión y pruebas de las fibras para generación de ruta final

Luego de realizar las mediciones a los distintos hilos a utilizar y verificar que cumplieran con los parámetros de calidad requeridos, se procedió a hacer el patch cord entre los ODF's marca TYCO Electronics tipo bandeja correspondientes a Catia la Mar y Maiquetía Radio en la sala PCM de Aeropuerto y entre los ODF's marca TYCO Electronics tipo bandeja correspondientes a Aeropuerto y Maiquetía Local en la sala PCM de Maiquetía Radio. Estos patch cord utilizados tenían conectores tipo ST en ambas locaciones ya que los ODF's TYCO Electronics instalados poseían bandejas de 12 acopladores ST/ST cada una. A continuación se muestra en el siguiente grafico el esquema detallado de la interconexión:

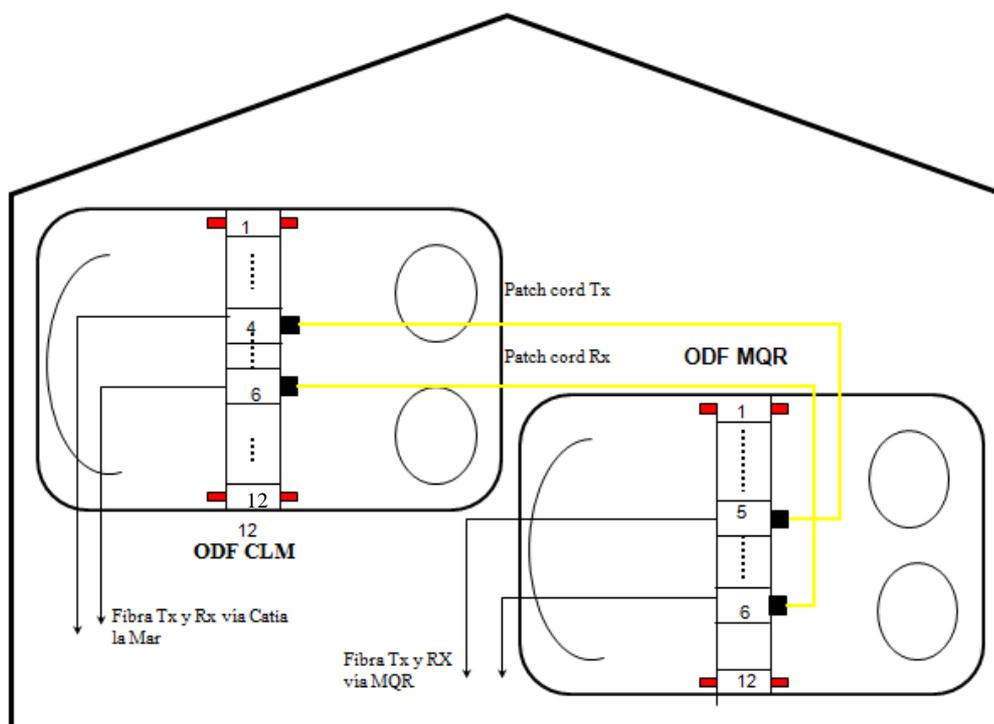


Figura # 20. Interconexión en sala PCM Aeropuerto. Fuente: Autor.

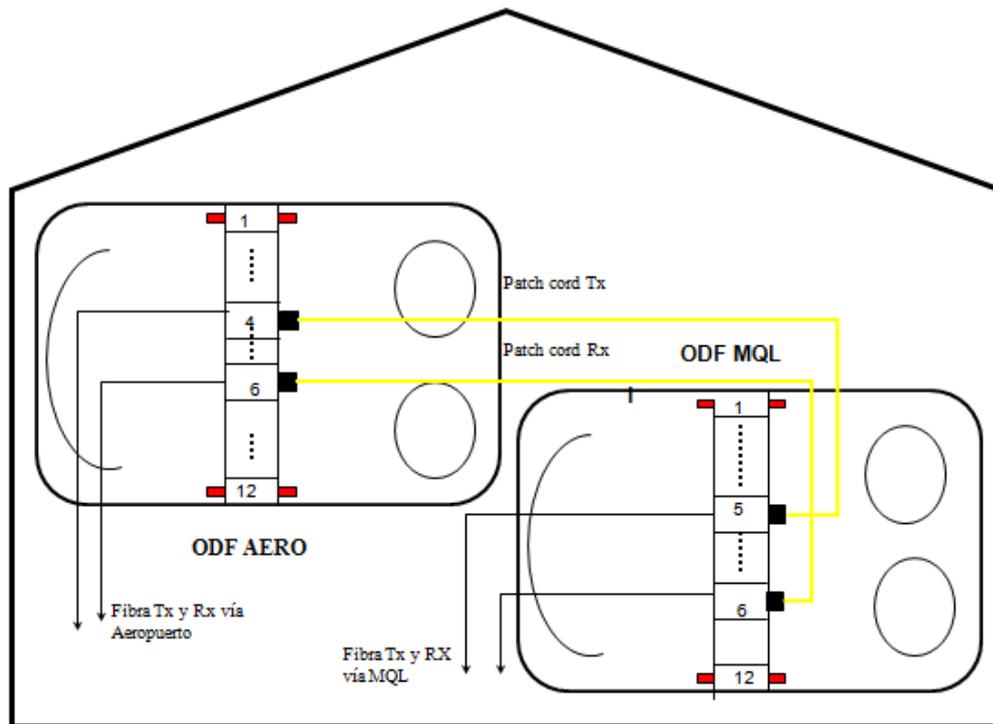


Figura # 21. Interconexión en sala PCM Maiquetía Radio. Fuente: Autor.

De la misma manera se realizó la interconexión para el caso de la ruta de respaldo para los equipos DSLAM.

Posteriormente se hizo una última prueba de reflectometría y potencia al nuevo tramo generado comprendido entre Catia la Mar y Maiquetía Local que pasa por Aeropuerto y Maiquetía Radio, obteniendo los siguientes resultados:

3.8.1 Pruebas de reflectometría

Fibra de la ruta # 1

Longitud total: 11.751 Km.

Atenuación total: 4.316 dB.

Fibra de la ruta # 2

Longitud total: 11.752 Km.

Atenuación total: 5.337 dB.

Fibra de la ruta # 3

Longitud total: 11.751 Km.

Atenuación total: 4.284 dB.

Fibra de la ruta # 4

Longitud total: 11.752 Km.

Atenuación total: 9.216 dB.

El detalle de estas reflectometrías se puede ver en el ANEXO 4.

3.8.2 Pruebas de potencia punto a punto

Fibra de la ruta # 1

Potencia de TX: 0 dB

Potencia de Rx: - 4.494 dBm

Fibra de la ruta # 2

Potencia de TX: 0 dB

Potencia de Rx: - 5.803 dBm

Fibra de la ruta # 3

Potencia de TX: 0 dB

Potencia de Rx: - 4.798 dBm

Fibra de la ruta # 4

Potencia de TX: 0 dB

Potencia de Rx: - 9.782 dBm.

Para el caso de la fibra de la ruta # 4 la cual presento una atenuación total de 9.216 dB en 11.752 kilómetros, lo que no es aceptable ya que teóricamente la atenuación por kilómetro en una fibra no debería exceder 0.5 dB de acuerdo a parámetro de calidad utilizados por CANTV, fue necesario sustituir los conectores ST tanto los que van al equipo como los que van en el ODF de la sala PCM de Catia la Mar ya que por alguna razón al hacer la prueba de reflectometría arrojó una atenuación puntual de 3.956 dB. Adicionalmente se tuvo que sustituir el patch cord en la sala PCM de Aeropuerto ya que existían ciertos dobleces que estaban introduciendo atenuaciones en cascada.

Una vez resuelto estos problemas se realizo una medición de la fibra de la ruta # 4 y se obtuvo lo siguiente:

Fibra de la ruta # 4

Longitud total: 11.752 Km.

Atenuación total: 5.320 dB.

Potencia de Tx: 0 dBm

Potencia de Rx: - 5.632 dBm.

El detalle de esta reflectometría se puede ver en el ANEXO 4.

3.9 Instalación de equipos terminales SDH AT&T SLM - 2000 – 16 en las salas PCM de Maiquetía Local y Catia la Mar.

3.9.1 Estructura del equipo

El AT&T – 2000 – 16 es un equipo con jerarquía SDH el cual posee una capacidad de transmisión de 2.5 Gbps. Este equipo posee el siguiente diseño físico:

3.9.1.1 Bastidor Principal o Rack Frames de 19”.

En este rack se instala tanto el “rack top” en el cual se encuentran las Unidades de Distribución de Alimentación y fusibles, así como los sub rack o sub bastidores que a continuación se describen.

3.9.1.2 Sub bastidores

Dentro del sub bastidor del terminal de línea del sistema LSM - 2000 - 16(ver figura # 22) se tiene:

- Partes Mecánicas.

- Un Panel de Unidades.
- Un Panel de Interconexión (ICP).
- Un Panel Posterior.
- Un Panel de Usuario (UPL).

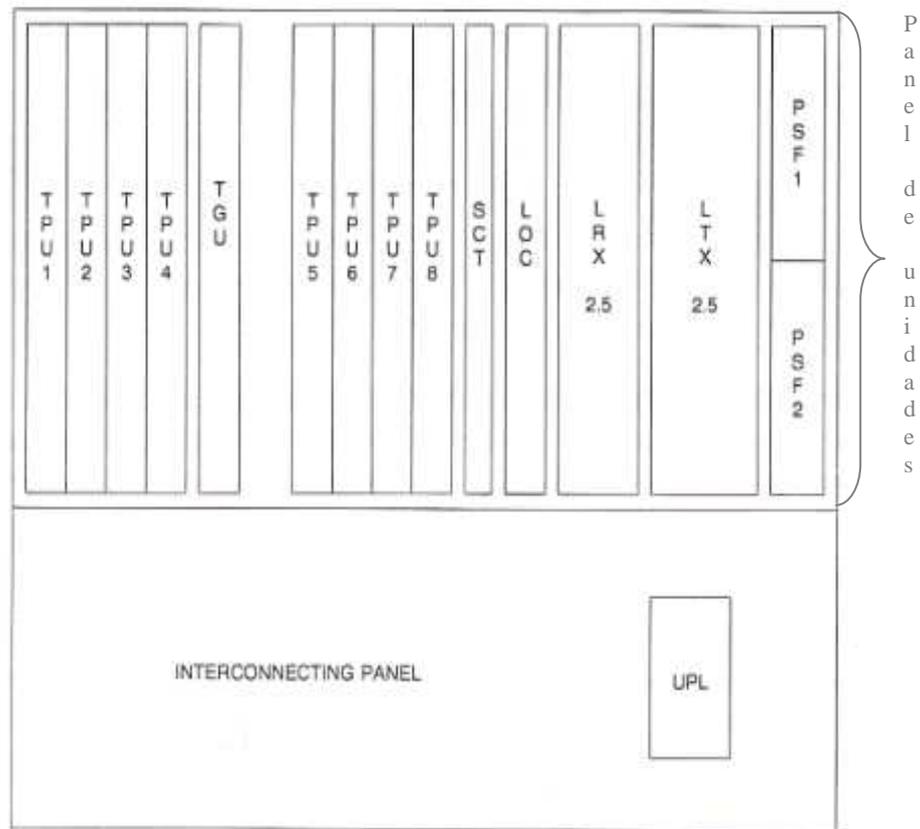


Figura # 22. Sub bastidor del Terminal de Línea SLM - 2000 – 16. Fuente: Autor.

- Partes Mecánicas

Los conectores para las interfaces ópticas se tienen en la parte frontal de las Unidades Ópticas, en cambio los conectores para las interfaces eléctricas se localizan en el ICP.

- Panel de Unidades

En el panel de unidades se encuentran:

- Ocho Unidades de Puerto Tributario (TPU). Cada unidad posee dos (2) circuitos de interfaz tributarios bidireccionales. Por ende el equipo maneja un total de dieciséis (16) señales tributarias de 140 Mbps.
- Una Unidad de Transmisión (LTX). Es la interfaz de línea óptica de alta velocidad situada en la dirección de transmisión. Ella realiza la función de sincronización de las señales STM-1 de baja velocidad entrantes, multiplicación y conversión de eléctrica a óptica.
- Una Unidad de Recepción (LRX). Es la interfaz de línea óptica de alta velocidad situada en la dirección de recepción. Ella realiza las funciones de conversión de óptica a eléctrica, recuperación del reloj, demultiplexación y extracción de la cabecera de la sección.
- Una Unidad de Temporización (TGU), la cual genera un reloj de 155.520 MHz para distribuirlo en el transmisor y en las unidades tributarias. La TGU proporciona una interfaz de referencia externa para sincronización de la red.
- Una Controladora del Sistema (SCT), la cual proporciona todo el control administrativo para las configuraciones del terminal en el sistema del SLM – 2000 – 16.
- Un Controlador de Cabecera de Línea (LOC), el cual proporciona el acceso del usuario a la cabecera de sección multiplexada SDH de dos canales STM – 16.
- Dos Unidades de Filtro de Alimentación (SPF), la cual filtra y supervisa la alimentación entrante.
- Panel de Interconexión (ICP)

La función del ICP es permitir mediante sus diferentes puertos las conexiones para las entradas de los tributarios, conexiones para temporización externa, conexión para monitoreo, entre otras.

- Panel Posterior

La función del panel posterior es conectar todas las unidades (usando cable impreso). La interconexión desde las unidades hasta el ICP se realiza con cables coaxiales.

- Panel de Usuario (UPL)

La función de UPL es proporcionar información del funcionamiento y estado del sistema a través de indicadores de alarma y estado.

3.9.2 Sala PCM Maiquetía Local

Al llegar a la sala PCM lo primero que se hizo fue ubicar el equipo AT&T SLM – 2000 -16. Luego de identificarlo, se constató que se trataba de un equipo que había sido desincorporado de otro departamento por lo que dicho equipo ya poseía las conexiones internas usando cableado impreso en el panel posterior así como también la configuración básica. Estos cables conectan todas las unidades del sub bastidor del Terminal de Línea con la parte posterior del Panel de Interconexión (ICP).

Posteriormente se procedió a encontrar una ubicación idónea para instalar el bastidor principal. Existían varios espacios disponibles por lo que se procedió a utilizar el más cercano al sub bastidor de alimentación (también llamado PDB) del ala derecha de la sala, el cual proveía de una alimentación DC de – 48 V adecuada para el funcionamiento del equipo ya que este puede trabajar con tensiones de

alimentación de – 60 ó – 48 Voltios.

3.9.2.1 Instalación de bastidores y sub bastidores

Se comenzó fijando al piso con dos tornillos tirafondo el bastidor principal. Cabe destacar que dicho bastidor ya poseía incorporado el rack top en donde se encuentra la Unidad de Distribución de alimentación y fusibles.

Posteriormente y una vez que se verifico que el bastidor principal estaba fijo, se procedió a colocar el sub bastidor del Terminal de Línea en configuración 1+1 (ver figura # 23) ya que se quería un respaldo por duplicación de información la cual permite tener una redundancia a nivel lógico en cuanto a las tarjetas de transmisión y recepción. Para la configuración 1+1 el sub bastidor del Terminal de Línea posee:

- Dos Paneles de Unidades.
- Un ICP.
- Un Panel Posterior.
- Un UPL.

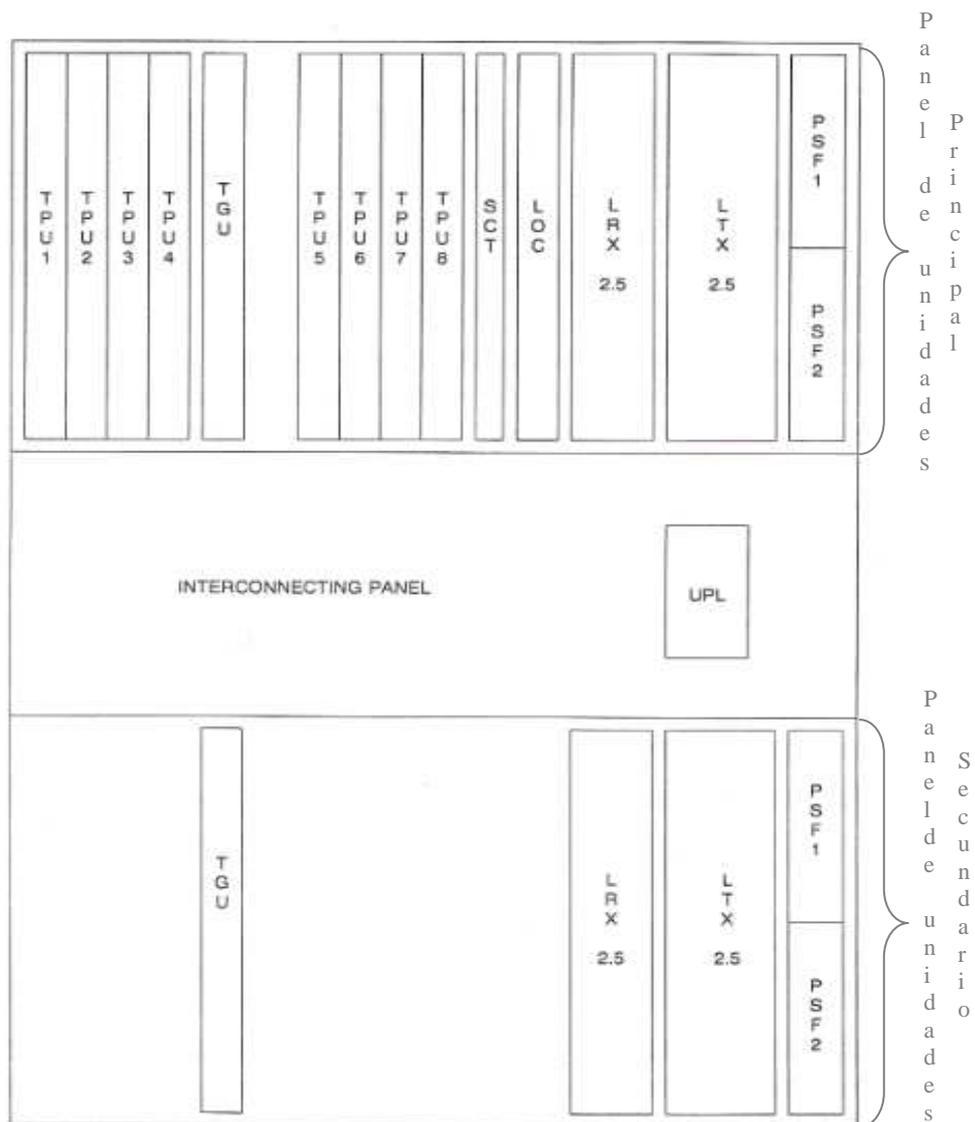


Figura # 23. Sub bastidor del Terminal de Línea en configuración 1+1.

Fuente: Autor.

En el primer panel de unidades que en adelante se llamará Principal, se encuentran ocho (8) tarjetas TPU, una TGU, una LTX, una LRX, 2 PSF, una SCT y una LOC, mientras que el en segundo panel de unidades que en adelante se llamará Respaldo, solo se encuentra una LTX, una LRX, 2 PSF y una TGU la cual se encarga de hacer la sincronización de las tarjetas de transmisión y recepción del Respaldo con las unidades TPU del Principal en el momento en que ocurra un corte en las fibras de Tx y Rx de la ruta primaria.

Por último se instaló el panel de distribución DSX AT&T de ¾ en el cual se conectan las entradas y salidas de las TPU. En este panel es también donde se inyecta mediante cable coaxial con conectores BNC la señal de 140 Mbps. Esto ya que es mucho más fácil y manejable hacer las conexiones en dicho panel.

La señal de 140 Mbps es entonces transportada mediante cables coaxiales con conectores del tipo APT a la parte frontal del ICP en las correspondientes posiciones de cada TPU como se muestra en las figuras # 24 y 25.

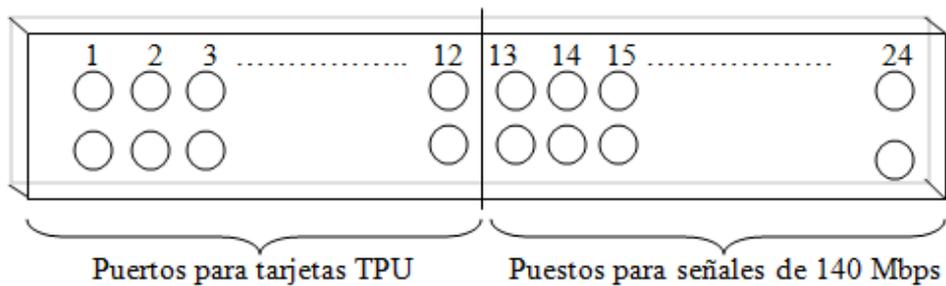


Figura # 24. Parte posterior del panel de distribución DSX AT&T ¾.

Fuente: Autor.

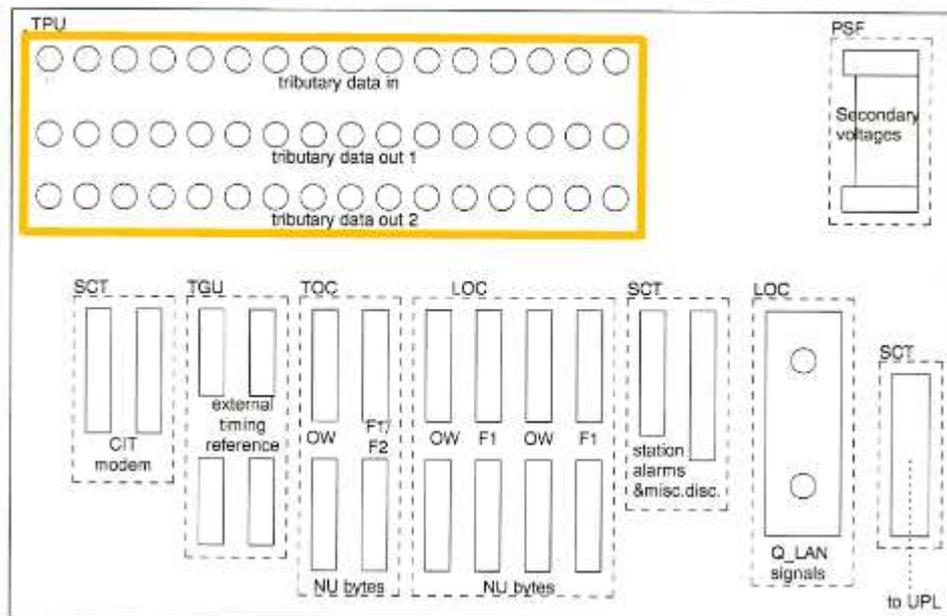


Figura # 25. Parte frontal del ICP. Fuente: Autor.

Luego de instalar el sub bastidor de línea, se procedió a hacer las interconexiones para alimentar el equipo.

3.9.2.2 Alimentación del equipo

Para alimentar el equipo primero se constató con un multímetro la tensión de salida del PDB al cual se quería conectar el mismo. En este caso se confirmó una tensión DC de – 48 Voltios.

Posteriormente se hicieron las conexiones mediante cables sólidos de cobre del terminal positivo y negativo de cada PFS al panel de distribución y fusibles del rack top. Luego se conectó mediante un tornillo al chasis del equipo a la altura del ICP un cable de tierra del tipo THW 12 AWG de 600V de 3 metros de longitud, el cual en su otro extremo se conectó a una plancha en el rack top la cual estaba soldada al bastidor principal. En este punto se conectó a esta plancha un cable que de aterramiento a la sala PCM. Es importante destacar que tanto el cable de tierra como el terminal positivo de cada PFS están pegados a la misma plancha, lo que indica una misma referencia para todo el sistema.

Por último se alimentó el equipo mediante cables tipo THW 10 AWG de 600 V de 3 metros de longitud, conectados directamente desde el PDB hasta el distribuidor del rack top como se muestra en la figura A.17 en el ANEXO 5.

Después de alimentar el equipo se verificó que todas las tarjetas y alarmas estuviesen funcionando.

3.9.2.3 Tendido del cableado de fibra óptica

Una vez instalado y alimentado el equipo, se procedió a realizar las interconexiones por medio de patch cord entre las tarjetas de Tx y Rx del

principal y del respaldo con los correspondientes ODF'S.

Para el caso del principal fue necesarios generar dos patch cord con conectores Biconicos en un extremo y FC en el otro, ya que la fibra óptica que va directamente de Catia la Mar hacia Maiquetía Local llega a un ODF marca Teletra de conectores Biconicos. Por otra parte tanto la entrada como la salida de las tarjetas de Tx y Rx del AT&T - 2000 – 16 son del tipo FC.

Para este caso se utilizaron dos patch cord Biconico/FC SMF OFNR (UL) E231397 de 10 metros. Estos patch cord se llevaron desde el equipo hasta el ODF Teletra en la fila F bastidor 01 regleta 02 posiciones 8 y 10, por medio de un conduit corrugado de $\frac{3}{4}$ " de 8 metros de longitud.

Este cable corrugado se tendió por encima de una escalerilla cuyas derivaciones conducían hacia el ODF Teletra como se muestra en la figura A.17 del ANEXO 5.

En el caso del respaldo se generaron dos patch cord con conectores ST en un extremo y FC en el otro extremo. Esto ya que la fibra proveniente de Maiquetía Radio llega a Maiquetía Local a un ODF marca TYCO el cual posee conectores del tipo ST.

Para este caso se utilizaron patch cord de ST/FC SMF OFNR (UL) E231397 de 11 metros. Estos patch cord se llevaron desde el equipo hasta el ODF TYCO en la fila C, bastidor 03, bandeja numero 01 posiciones 9 y 10, por medio de un conduit corrugado de $\frac{3}{4}$ " de 9 metros de longitud.

Este cable corrugado se tendió por encima de una escalerilla cuyas derivaciones conducían hacia el ODF TYCO como se muestra en la figura A.17 del ANEXO 5.

3.9.3 Sala PCM Catia la Mar

De manera similar al trabajo realizado en Maiquetía Local, primero se verificó la disponibilidad y el estado del equipo, con la variante de que en este caso el rack principal estaba fijado al suelo ya que los trabajadores locales encargados de la sala restringieron la colocación de dicho equipo en otra parte.

Se constató que el equipo ya poseía las interconexiones internas hechas en el back plane entre todas las tarjetas y componentes por lo que el paso siguiente era instalar el sub bastidor del terminal de línea en configuración 1+1 y el panel de distribución donde se inyecta la información que luego es procesada por las tarjetas TPU.

Se realizaron las conexiones para la alimentación tanto de los filtros del principal y respaldo, como las de la tierra del equipo. Posteriormente y después de verificar la tensión de salida del PDB, se realizó la interconexión de este con el distribuidor del rack top del equipo, por medio de dos cables del tipo THW 10 AWG de 600 V de 11 metros de longitud.

En este caso, para la ruta principal se utilizaron dos patch cord Biconico/FC SMF OFNR (UL) E231397 de 12 metros de longitud. Estos patch cord se llevaron desde el equipo hasta el ODF Teletra en la fila B bastidor 01 regleta 04 posiciones 7 y 8, por medio de un conduit corrugado de ¾” de 12 metros de longitud.

Para el caso de la ruta de respaldo, se utilizaron igualmente dos patch cord FC/ST de la misma marca y tipo con una longitud de 11.5 metros. Estos se llevaron desde el equipo hasta el ODF marca TYCO en la fila H, bastidor 01, bandeja numero 1, posiciones 7 y 9, por medio de un conduit de ¾” de 14 metros de longitud.

Estos conductos se tendieron por encima de las escaleras cuyas derivaciones conducían hacia ambos ODF's como se muestra en la figura A.18 del ANEXO 5.

3.10 Verificación del funcionamiento y niveles de potencia real de las tarjetas en los terminales SDH AT/T SLM - 2000 – 16 en las salas PCM de Maiquetía Local y Catia la Mar.

Luego de realizar todas las conexiones necesarias tanto eléctricas como ópticas, se procedió a verificar el estado lógico del sistema haciendo una evaluación del funcionamiento de las tarjetas de transmisión y recepción tanto del principal como del respaldo.

3.10.1 Sala PCM Maiquetía Local

Para el caso del principal y tomando en cuenta que ya el sistema estaba interconectado, el led de la tarjeta de transmisión estaba apagado, lo que indicaba que la tarjeta de Tx estaba transmitiendo el pulso de prueba y enganche correctamente. En el caso de la tarjeta de Rx y luego sacarla del slot y meterla nuevamente con el objeto de reiniciarla, el led de alarma estaba titilando lo que indicaba que la tarjeta no estaba “enganchada” con la tarjeta de transmisión del principal del equipo en Catia la Mar.

Para verificar lo anteriormente expuesto, se midieron las potencias de Tx y Rx y se obtuvo lo siguiente:

- Al medir la potencia de salida de la tarjeta se confirmó una potencia de - 3.347 dBm.
- Al medir la potencia en el patch cord del hilo de recepción se pudo

confirmar una potencia de - 9.324 dBm.

Estos resultados confirman lo que se visualizó con las alarmas de las tarjetas ya que teóricamente la potencia de salida promedio para el equipo operando como un STM-16 es de -3.5 dBm +/- 0.5 dBm y que los umbrales de sensibilidad del equipo de Rx está entre -12 dBm y -33 dBm [11].

Debido a esto fue necesario colocar un atenuador de 7 dB en la entrada de la tarjeta de Rx lo que permitió que esta pudiese “engancharse”.

Para el caso del respaldo, y tomando en cuenta las mismas situaciones iniciales del principal, se pudo ver que la tarjeta de Rx no estaba “enganchada” con la tarjeta de Tx de Catia la Mar ya que el led de alarma estaba titilando. Para solucionar el problema se reinició esta tarjeta, sacándola del slot y luego metiéndola nuevamente. Luego de este procedimiento y en vista de que la tarjeta seguía alarmada, se midió la potencia de recepción la cual era de - 10.983 dBm lo cual no estaba dentro de los rangos de sensibilidad de dicha tarjeta.

Posteriormente se colocó un atenuador de 7 dB en la entrada del receptor y la alarma seguía encendida por lo que se llegó a la conclusión de cambiar dicha tarjeta por otra ya que se confirmó que ésta estaba dañada.

Al sustituir la tarjeta de Rx ésta “engancho” rápidamente.

En el caso de la tarjeta de Tx se visualizó que el led estaba apagado lo que indicaba que estaba enviando correctamente el pulso de prueba y enganche. Al medir la potencia de Tx se verificó que era de - 3.428 dBm.

En cuanto al resto de las tarjetas que integran el equipo mencionadas anteriormente, todas tenían sus led apagados excepto las de las TPU cosa que es de esperarse ya que por ellas no pasaba ningún flujo de información.

3.10.2 Sala PCM Catia la Mar

En esta locación, para el principal se verificó que la alarma del transmisor estaba apagada. Al medir la potencia de transmisión se constató que estaba dentro del valor promedio ya que era de -3. 299 dBm.

En el caso del receptor la alarma titilaba, por lo que se siguió en mismo procedimiento que en Maiquetía. Primero se reinició la tarjeta sacándola y metiéndola del slot. Luego se midió la potencia de recepción la cual daba un valor de - 9. 506 dBm.

Ya que la potencia estaba por encima del umbral máximo, la tarjeta estaba saturada por lo que se colocó en la entrada de la misma un atenuador de 7dB, con lo que se solucionó el problema.

En el caso del respaldo, una situación similar se presentó. La tarjeta de transmisión no estaba alarmada y presento una potencia de Tx de – 2.489 dBm. Para el caso de la tarjeta de Recepción, ya que se encontraba alarmada se reinició y luego se midió la potencia de entrada confirmado un valor de -11.201 dB. Por último y por protección ya que con este valor de potencia la tarjeta de Rx se “engancho”, se colocó un atenuador de 5 dB en la entrada de la misma con lo que se aseguró estar dentro del rango de sensibilidad de esta.

En cuanto al resto de las tarjetas que integran el equipo mencionadas anteriormente, todas tenían sus led apagados excepto las de las TPU cosa que es de esperarse ya que por ellas no pasaba ningún flujo de información.

3.11 Pruebas en los terminales SDH AT/T SLM - 2000 – 16 en las salas PCM de Maiquetía Local y Catia la Mar

Para verificar que estos equipos operaban efectivamente, se realizaron dos pruebas, las cuales permitirían verificar el funcionamiento con un flujo real de información.

3.11.1 Prueba de BER

Utilizando un analizador de Transmisión – Recepción marca HP modelo ME50B, se realizaron las pruebas de BER (tasa de error de Bit).

El equipo se puede configurar para distintos flujos de información, entre valores de 2 Mbps, 8 Mbps, 34 Mbps, 140 Mbps y 155 Mbps según sea el ancho de banda en la entrada del multiplexor.

Ya que esta prueba no es necesario hacerla en ambas locaciones, se llevó a cabo en la sala PCM de Maiquetía Local ya que era el punto más cercano.

La prueba de BER para las fibras correspondientes al respaldo del equipo SDH se llevó a cabo realizando un loop back sobre el DSX a nivel del puerto de Tx y Rx de la TPU del principal del equipo AT&T - 2000 -16 en Catia la Mar y en el otro extremo de interés se colocó el equipo de medición configurado con la capacidad deseada conectado al panel de distribución mediante cables coaxiales con conectores BNC. En este caso se utilizó un flujo de 140 Mbps ya que era el más idóneo para hacer esta prueba entre los terminales SDH cuyas tarjetas TPU trabajan con esta capacidad. El esquema de conexión se muestra en la figura A.19 del ANEXO 6.

Esta prueba se realizó por un período de 22 horas entre los equipos SDH. El BER resultante para esta prueba fue:

BER = 0.00 E-14

% tramas con error = 0 %

% tramas sin error = 100 %

Para el par de redundancia de los equipos DSLAM se asumió que estos terminales no introducían error en la transmisión ya que para el momento estaban operando satisfactoriamente. Con el objeto de hacer la prueba de BER sobre la ruta de respaldo creada para dar redundancia a estos equipos, se procedió a conectar estas fibras a los equipos SDH que ya previamente se había corroborado que no introducían error alguno en la transmisión de acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de BER anterior. Bajo el mismo esquema de conexión de la figura A.19 del ANEXO 6, el resultado para esta prueba luego de 26 horas fue:

BER = 0.00 E-14

% tramas con error = 0 %

% tramas sin error = 100 %

Estos resultados indicaron que ninguno de los equipos, cables coaxiales o cables de fibra introdujeron errores en los enlaces.

3.11.2 Prueba de conmutación para los equipos SDH

Como en esta prueba solo se quería comprobar que los equipos AT&T SLM 2000 – 16 conmutaran de ruta en caso de cualquier fallo en la ruta de operación, se utilizaron los dos pares de fibra construidos para las redundancias de los equipos SDH y DSLAM, prescindiendo del par de fibras que estaban siendo usadas entre los equipos SDH ya que estos estaban prestando servicio en ese momento. El esquema de la conexión se muestra en la figura A.20 del ANEXO 6.

Inicialmente la transmisión y recepción se llevaba a cabo satisfactoriamente por medio del par de hilos de fibra de la ruta principal.

Posteriormente se procedió a desconectar los hilos de fibra de las tarjetas de Tx y Rx simulando un corte en esa ruta y luego de unos segundos se restableció automáticamente la transmisión y recepción lo que indicó que efectivamente el equipo estaba conmutando de ruta como se esperaba.

3.11.3 Prueba de conmutación para los equipos DSLAM

Ya que no fue posible encontrar las tarjetas para los equipos DSLAM Alcatel ASAM 7302 que permitieran la conmutación automática de ruta al momento de un corte en la ruta de operación, no se pudo hacer una prueba como tal sobre este particular.

A pesar de esto se llevó a cabo una prueba de conmutación de ruta de transmisión manual, desconectando simultáneamente en ambas locaciones las fibra de la ruta principal Catia la Mar – Maiquetía Local directa y conectando las del respaldo creadas, procedimiento que, aunque no es inmediato, es efectivo como mediada de contingencia en una situación de corte en el par de fibras de la ruta principal. Este procedimiento no arrojó ningún error ya que a lo largo de 4 días que estuvo en uso esta ruta no se reportaron inconvenientes por parte del COR (Centro de Operaciones de Red).

3.12 Migración de la plataforma PDH a SDH

Luego de realizar todas las pruebas requeridas para garantizar que tanto los equipos como el medio de transmisión estaban funcionando debidamente y bajo los parámetros de calidad requeridos, se procedió en horas de la madrugada a inyectar el flujo de 140 Mbps, mediante un cable coaxial con conectores BNC, a el panel de distribución DSX el cual a su vez lleva esta señal a la tarjeta TPU colocada en el slot número uno del equipo SDH.

Con este procedimiento se implementó la transmisión de datos sobre una plataforma SDH entre las centrales de Catia la Mar y Maiquetía Local, con una redundancia a través de una ruta alterna, lo que permitirá una mayor confiabilidad y mayor capacidad de transmisión. Todo esto redundará también en poder ofrecer nuevamente a la población de estas localidades nuevas líneas telefónicas ya que se cuenta con un ancho de banda notablemente mayor en cuanto a transmisión de datos interna de CANTV se refiere.

3.13 Topología actual del enlace Catia la Mar – Maiquetía Local para equipos SDH

Después de cumplir con todos los objetivos planteados, la situación de la plataforma de transmisión y recepción cuenta con un ancho de banda de 2.5 Gbps operando bajo tecnología SDH y con una redundancia a distancia como lo muestran los siguientes gráficos:

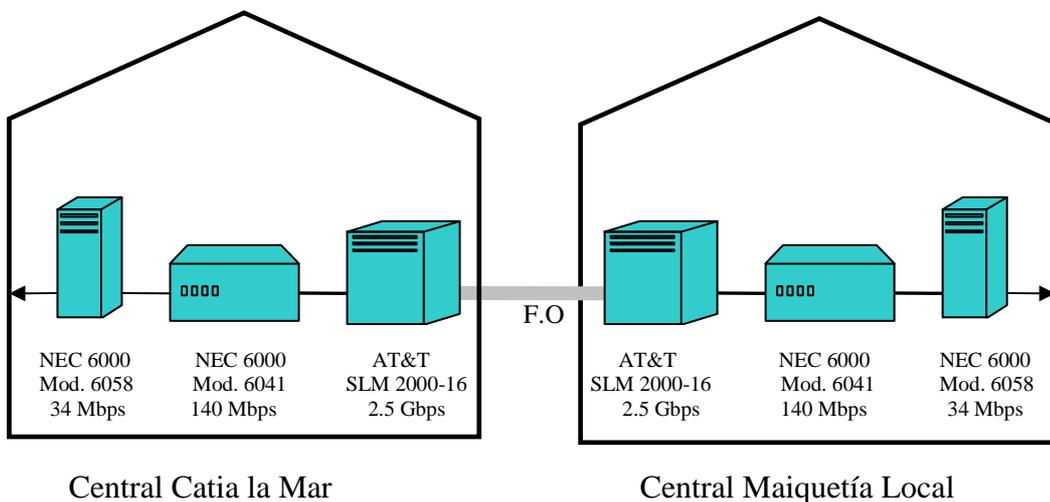


Figura # 26. Topología actual planta interna equipos SDH. Fuente: Autor.

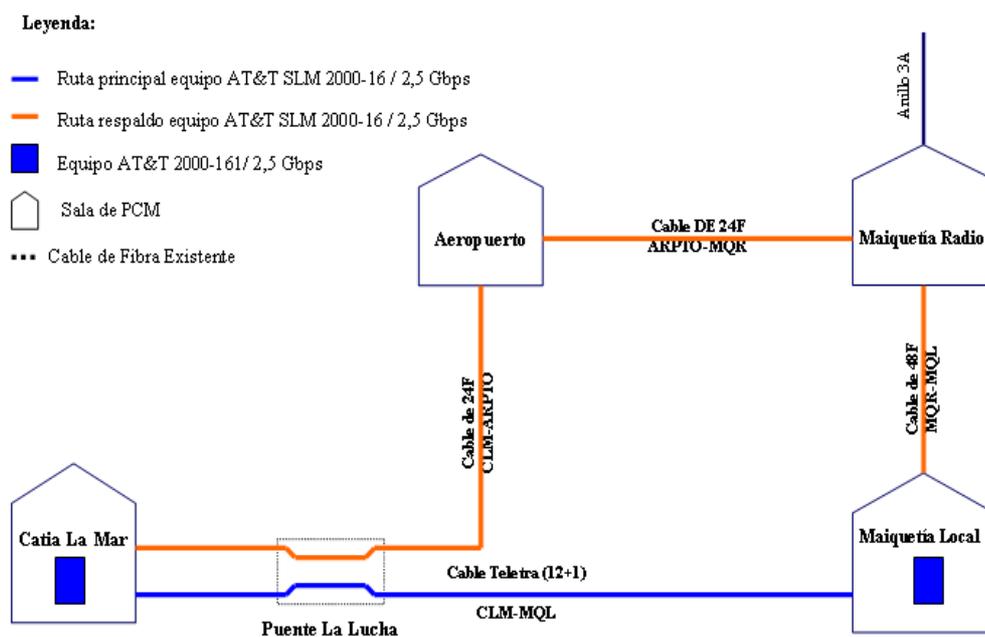


Figura # 27. Topología actual planta externa equipos SDH. Fuente: Autor.

3.14 Topología actual del enlace Catia la Mar – Maiquetía Local para equipos DSLAM.

En el caso de los equipos DSLAM como anteriormente se menciona el cambio se dio solamente en la estructura de planta externa ya que en lo que a equipos se refiere, no hubo modificación alguna sobre el particular como se puede ver en las figuras # 28 y 29. Esto debido a que no fue posible conseguir las tarjetas que permitían la conmutación automática de ruta de estos equipo en el momento en el cual la ruta de operación sea cortada:

En base a esta situación se dejó en los ODF de llegada de la ruta de respaldo de cada DSLAM un par de pigtaills identificados como “Ruta de respaldo equipos DSLAM 7302 CLM- MQL” para que al momento de un corte en la ruta de operación se pueda hacer manualmente el cambio de ruta y así mantener operativo el sistema.

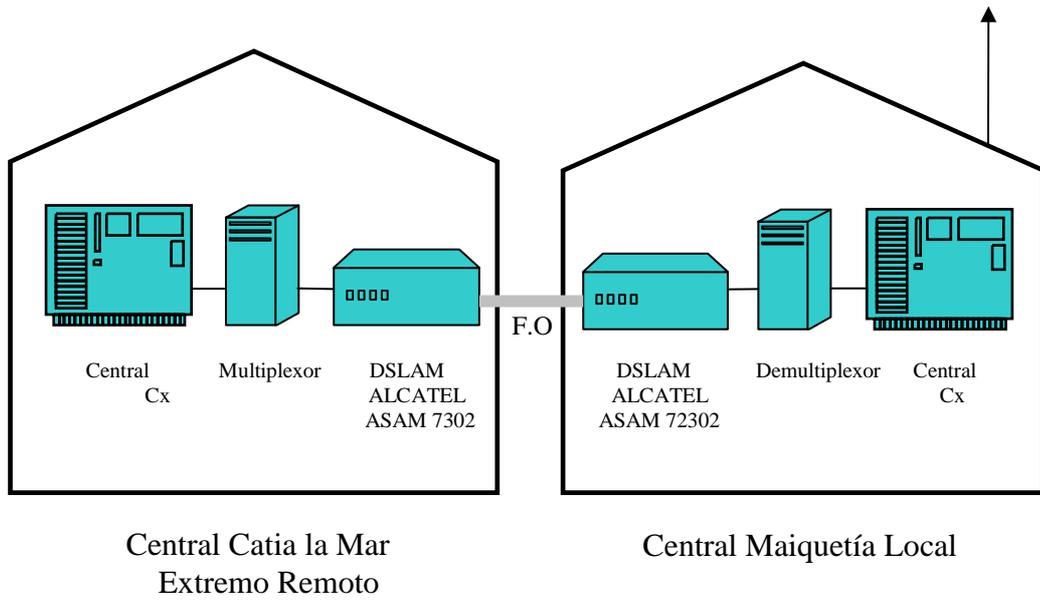


Figura # 28. Topología actual planta interna equipos DSLAM. Fuente: Autor

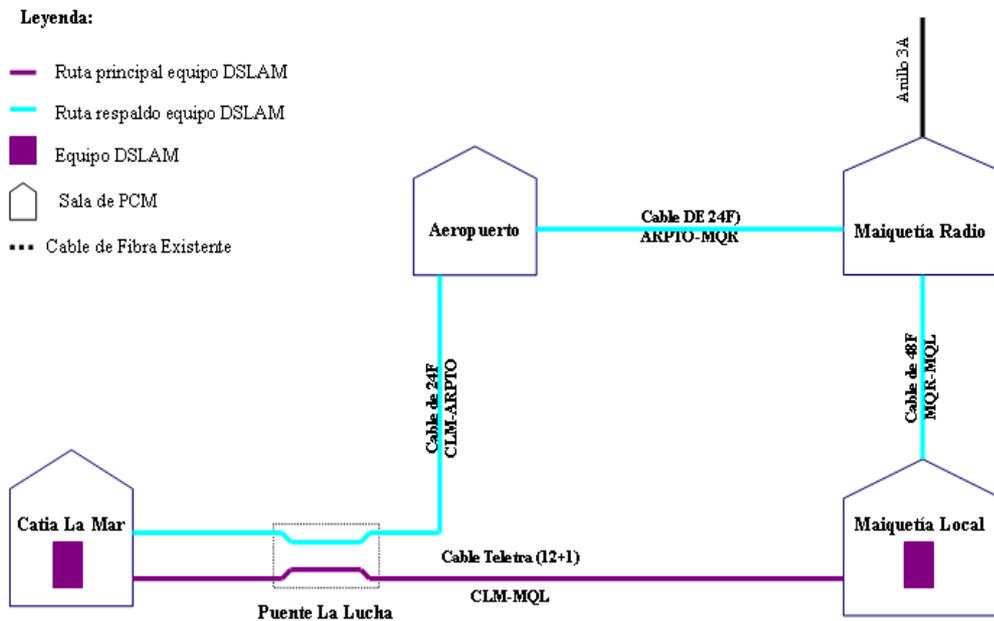


Figura # 29. Topología actual planta externa equipos DSLAM. Fuente: Autor.

CONCLUSIONES

Luego de llevar a cabo la creación de una redundancia a través de una ruta alterna para los equipos y finalizar la migración de la plataforma PDH a SDH podemos concluir lo siguiente:

- La migración de la plataforma PDH con capacidad máxima de 140 Mbps a una plataforma SDH con capacidad de 2.5 Gbps permitió solucionar el problema de tráfico por exceso de abonados de las locaciones circundantes a Catia la Mar y Maiquetía local.
- Esta migración aumentó la capacidad de integrar más abonados para servicio de voz en dichas locaciones ya que se cuenta con una capacidad mucho mayor con respecto a la anterior.
- Con los nuevos equipos AT&T 2000 – 16 es posible utilizar una diversidad de multiplexores para inyectar la señal de 140 Mbps a las TPU del mismo, lo cual no era posible con los equipos PDH NEC ya que estos solo podían trabajar con multiplexores de la misma marca. Esto brinda al enlace una mayor versatilidad.
- Con estos equipos es posible, si así se quiere, “bajar” información en una locación intermedia entre Catia la Mar y Maiquetía sin necesidad de demultiplexar toda la información ya que estos equipos SDH agregan punteros a todas las tramas lo cual las hace completamente identificables y separables de otras tramas que tienen otro dirección de destino.
- Los enlaces creados para dar redundancia a través de una ruta alterna permiten una conmutación del canal de transmisión tanto para el caso de los equipos SDH como para el caso de los equipos DSLAM al momento de una falla del medio de transmisión principal. Esto se traduce en una

mayor y mejor calidad de servicio para los usuarios CANTV.

- Debido a que se utilizaron equipos que ya habían sido desincorporados de otros departamentos, la inversión y el tiempo de licitaciones se redujeron a cero, lo que permitió realizar esta optimización de forma rápida y concisa.

RECOMENDACIONES

Para lograr una mayor eficiencia y mejorar la calidad de servicio prestado se recomienda:

- Cambiar en los ODF's marca Teletra, todos los conectores y transiciones Biconicos(s) por conectores y transiciones ST ya que los Biconicos por ser una tecnología muy vieja incorporan mucha atenuación en las rutas de fibra óptica.
- Crear una ruta de redundancia que no necesariamente pase por el puente La Lucha ya que si en éste se produce un corte en la tubería que alberga los cables de ambas rutas, no serviría de nada la redundancia ya que el corte se produciría simultáneamente en ambas rutas.
- Utilizar el equipo AT&T SLM 2000 – 16 como medio de transporte para todos los PDH con capacidad de 140 Mbps. Con esto se lograría liberar pares de fibra óptica entre las centrales Catia la Mar y Maiquetía que pueden ser utilizados para otros proyectos.
- En cuanto a los equipos DSLAM Alcatel ASAM 7302 se recomienda encontrar las tarjetas que permiten hacer la conmutación automática de rutas en el momento de una falla en la ruta principal. Esto con el objeto de disminuir la cantidad de tiempo fuera de servicio por causa de esta falla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Wikitel. Enciclopedia virtual de consulta. Fibra Óptica.
http://es.wikitel.info/wiki/Fibra_%C3%B3ptica. [Consultado el 02-09-2009].
- [2] Textos Científicos.com. Propiedades de la Fibra Óptica.
<http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica/propiedades>.
[Consultado el 02-09-2009].
- [3] Textos Científicos.com. Fibra Óptica.
<http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica>.
[Consultado el 02-09-2009].
- [4] Textos Científicos.com. Empalmes y Conexión de la Fibra Óptica.
<http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica/empalmes-conexiones>
[Consultado el 02-09-2009].
- [5] Wikipedia. Enciclopedia virtual de consulta. Fibra Óptica.
http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_%C3%B3ptica.
[Consultado el 04-09-2009].
- [6] Hiperlines Systems. Catálogo de Conectores de Fibra Óptica.
<http://esp.hyperlinesystems.com/catalog/fiber/connect.shtml>.
[Consultado el 05-09-2009].
- [7] mailxmail.com. Curso de Instalación Física de Redes.
<http://www.mailxmail.com/curso-red-instalacion-fisica/conectores-fibra-optica>.
Capítulo consultado: Capítulo 3, Conectores para Fibra Óptica. Por Editorial Mc
Graw Hill. [Consultado el 05-09-2009].

- [8] textoscientificos.com. Propiedades de Transmisión.
<http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica/propiedades-tranmision>.
[Consultado el 09-09-2009].
- [9] wikipedia. Enciclopedia virtual de consulta. Jerarquía Digital Plesiócroma.
<http://es.wikipedia.org/wiki/PDH>. [Consultado el 09-09-2009].
- [10] Curso de Sistema de comunicaciones por microondas (PDF) UNI – FIEE
2005.
<http://aniak.uni.edu.pe/sdemicro/Cap%2009%20MW%202005-1.pdf>.
[Consultado el 09-09-2009].
- [11] AT&T Network Systems International B.V. Descripción de la Aplicación
Equipo AT&T SLM – 2000 – 16. (Manual). – Versión 02 S, (1994), p.p. 25 – 46.
- [12] Joseph C. Palais. Fiber Optic Communications. (Libro). – New Jersey:
EE.UU: Ed. PRETICE HALL, 1992. p.304.
- [13] AT&T Network Systems International B.V. Guía de Configuración del Nodo
Equipo AT&T SLM – 2000 – 16. (Manual). – Versión 02 S, (1994), p.p. 25 – 46.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

Joseph C. Palais. Fiber Optic Communications. – New Jersey: EE.UU: Editorial PRETICE HALL, 1992.

Manuales

Manual de referencia: Versión (02 S). Descripción de la Aplicación Equipo AT&T SLM – 2000 – 16, 1994. __ 238 p.

Manual de referencia: Versión (02 S). Guía de Configuración del Nodo Equipo AT&T SLM – 2000 – 16, 1992. __ 504 p.

Internet

Wikitel. Enciclopedia virtual de consulta. Fibra Óptica.
http://es.wikitel.info/wiki/Fibra_%C3%B3ptica.

Textos Científicos.com. Fibra Óptica.
<http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica>

Wikipedia. Enciclopedia virtual de consulta. Fibra Óptica.
http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_%C3%B3ptica.

Hiperlines Systems. Catálogo de Conectores de Fibra Óptica.
<http://esp.hyperlinesystems.com/catalog/fiber/connect.shtml>.

mailxmail.com. Curso de Instalación Física de Redes.

<http://www.mailxmail.com/curso-red-instalacion-fisica/conectores-fibra-optica>.