



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**AMPLIACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE DE STM-1 A STM-4 EN LAS  
CELDAS 3G, CON CARACTERIZACION DE FIBRA Y MIGRACIONES DE  
SERVICIOS EN LA RED DE TRANSPORTE**

**Héctor Francisco Reyes Franco**

Asesorado por la Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota

Guatemala, septiembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**AMPLIACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE DE STM-1 A STM-4 EN LAS  
CELDAS 3G, CON CARACTERIZACIÓN DE FIBRA Y MIGRACIONES DE  
SERVICIOS EN LA RED DE TRANSPORTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**HÉCTOR FRANCISCO REYES FRANCO**

ASESORADO POR LA INGA. INGRID RODRÍGUEZ DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Aníbal Silva De Los Ángeles
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADORA	Inga. María Magdalena Puente Romero
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **AMPLIACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE DE STM-1 A STM-4 EN LAS CELDAS 3G, CON CARACTERIZACION DE FIBRA Y MIGRACIONES DE SERVICIOS EN LA RED DE TRANSPORTE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 28 enero de 2011.



**Héctor Francisco Reyes Franco**

Guatemala 18 de mayo del 2012

Ingeniero  
Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador del Área de Electrónica  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Estimado Ingeniero Guzmán.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado: **“Ampliación de la Red de Transporte de STM-1 a STM-4 en las Celdas 3G, con Caracterización de Fibra y Migración de Servicios en la Red de Transporte”**, del señor **Hector Francisco Reyes Franco**, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

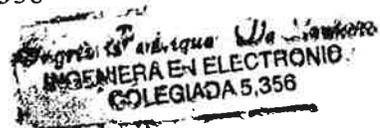
Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,



Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota  
Colegiada 5,356

Asesora





Ref. EIME 30.2012  
Guatemala, 11 de JULIO 2012.

FACULTAD DE INGENIERIA

Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
**“AMPLIACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE DE STM-1 A  
STM-4 EN LAS CELDAS 3G, CON CARACTERIZACIÓN DE  
FIBRA Y MIGRACIÓN DE SERVICIOS EN LA RED DE  
TRANSPORTE”**, del estudiante **Héctor Francisco Reyes Franco**,  
que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
DID Y ENSEÑADA TODOS

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador Área Electrónica



CEGS/sro



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 40.2012.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; Héctor Francisco Reyes Franco titulado: "AMPLIACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE DE STM-1 A STM-4 EN LAS CELDAS 3G, CON CARACTERIZACIÓN DE FIBRA Y MIGRACIÓN DE SERVICIOS EN LA RED DE TRANSPORTE, procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 25 DE JULIO 2012.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 414.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **AMPLIACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE DE STM-1 A STM-4 EN LAS CELDAS 3G, CON CARACTERIZACIÓN DE FIBRA Y MIGRACIONES DE SERVICIOS EN LA RED DE TRANSPORTE**, presentado por el estudiante universitario **Héctor Francisco Reyes Franco**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, 4 de septiembre de 2012.

/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Mi familia**

La cual me brindó su apoyo en todo momento, y me alentó a seguir siempre hacia adelante aún en los momentos difíciles, siempre dispuestos a tenderme la mano para poder superar los obstáculos encontrados en el camino. Hoy que soy un ingeniero en electrónica, que sea una pequeña recompensa al esfuerzo y sacrificio brindado.

## **AGRADECIMIENTOS**

- Dios** Por ser la luz que guía mi camino.
- Mis padres** Espectación Reyes Romero y Angelina Franco de Paz de Reyes, por todos los sacrificios que pasaron para que pudiera salir adelante, sus consejos que me mantuvieron firme en mi camino, su amor y apoyo incondicional, el cual no permitió que me derrumbara, este triunfo se los dedico con mucho cariño.
- Mis hermanos** Juan José y Julio Miguel Reyes Franco, por todo el apoyo brindado, en especial a Juan, por ser un soporte en mi vida y un ejemplo a seguir.
- Mi hija** Liliana Paola Reyes Sosa, por ser la alegría de mi vida y la razón más importante para seguir adelante.
- Mi esposa** Laura Alejandra Sosa, por su amor, comprensión y su ayuda brindada para la culminación de mi carrera profesional.
- Mis amigos** Que fueron agregándose a mi vida a lo largo de mi formación académica, con los cuales compartí triunfos y fracasos, alegrías y tristezas, gracias por sus consejos y apoyo.

**Mi familia en general** Por ser el más grande tesoro que aprecio en esta vida.

**Universidad de San Carlos de Guatemala** En especial a la Facultad de Ingeniería por acogerme en su seno y ser mi alma máter, la cual me brindó la oportunidad de expandir mis conocimientos científicos, técnicos y éticos, hoy me siento orgulloso de pertenecer a tan prestigiosa casa de estudios.

**Inga. Ingrid de Loukota** Por el apoyo técnico profesional brindado de manera incondicional y por su valiosa asesoría al presente trabajo de graduación.



1.4.	Fibra óptica.....	20
1.4.1.	Historia .....	21
1.4.2.	Características.....	22
1.4.3.	Funcionamiento .....	23
1.4.4.	Tipos de fibras .....	23
1.4.5.	Aplicaciones .....	24
1.4.6.	Comunicaciones con fibra óptica.....	25
1.4.6.1.	El par trenzado de fibra óptica (FTP).....	25
1.5.	Modulación PCM 30 .....	26
1.5.1.	Estructura de la trama .....	28
2.	JERARQUÍA DIGITAL PLESIÓCRONA.....	31
2.1.	Historia .....	31
2.2.	Conceptos de PDH.....	33
2.2.1.	Definición.....	33
2.2.2.	Principios básicos.....	34
2.2.3.	Jerarquía PDH.....	36
2.2.3.1.	Distintas jerarquías de transmisión.....	39
2.3.	Principios básicos de una red PDH .....	42
2.3.1.	Estructura de la trama .....	42
2.3.2.	Limitaciones de PDH .....	47
3.	SISTEMA DE TRANSMISIÓN SDH Y DWDM .....	49
3.1.	Historia .....	49
3.2.	Conceptos de SDH.....	50
3.2.1.	Definición de SDH .....	50
3.2.2.	Principios básicos.....	52
3.2.3.	Jerarquía SDH.....	56
3.2.4.	Principios básicos de una red SDH .....	57

	3.2.4.1.	Estructura de la trama SDH .....	58	
	3.2.4.2.	Cross-conexión .....	68	
3.3.		Conceptos de DWDM .....	69	
	3.3.1.	Breve historia .....	69	
	3.3.2.	Principios básicos .....	71	
	3.3.3.	Redes ópticas DWDM.....	72	
		3.3.3.1. Transmisor.....	74	
		3.3.3.2. Multiplexores/Demultiplexores ópticos.....	74	
		3.3.3.3. Amplificadores ópticos .....	75	
		3.3.3.4. Compensador de dispersión .....	75	
4.		AMPLIACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE DE STM-1 A STM-4 EN LAS CELDAS 3G, CON CARACTERIZACION DE FIBRA Y MIGRACIONES DE SERVICIOS EN LA RED DE TRANSPORTE .....	77	
	4.1.	Topología de la red actualmente existente en sitios .....	78	
	4.2.	Topología de red en STM-4 .....	83	
		4.2.1. Anillo SDH1 .....	83	
		4.2.2. Anillo SDH2 .....	85	
		4.2.3. Anillo SDH3 .....	87	
	4.3.	Tiempos de ejecución .....	89	
	4.4.	Costo de ejecución .....	91	
	4.5.	Procedimiento de ejecución.....	94	
		4.5.1. Estudio de sitio .....	94	
			4.5.1.1. Condiciones del sitio .....	95
		4.5.2. Tipo de infraestructura del sitio .....	98	
		4.5.3. Energía disponible en el sitio .....	101	
		4.5.4. Espacio disponible en sitio.....	102	
		4.5.5. Distancias, tipos de ODF y conectores de fibra a utilizar .....	102	

4.5.6.	Fotografías .....	103
4.6.	Caracterización de fibra.....	104
4.6.1.	OTDR .....	104
4.6.1.1.	Dispersión cromática .....	105
4.6.1.2.	Dispersión por modo de polarización .....	106
4.6.2.	Procedimientos para caracterización de fibra.....	107
5.	INSTALACIÓN DE EQUIPOS Y MIGRACIONES DE SERVICIOS.....	115
5.1.	Implementación de equipo .....	115
5.1.1.	Instalación física .....	115
5.1.2.	Creación de circuitos y dibujado en gestión de equipo.....	122
5.2.	Migración de servicios .....	124
5.3.	Protocolos de aceptación .....	128
	CONCLUSIONES.....	133
	RECOMENDACIONES .....	135
	BIBLIOGRAFÍA.....	137

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Señal de amplitud modulada.....	4
2.	Señal de frecuencia modulada.....	6
3.	Señal de fase modulada .....	8
4.	Señal analógica de información .....	11
5.	Señal PAM .....	11
6.	Señal PAM cuantificada .....	12
7.	Codificación usando signo y magnitud.....	12
8.	Señal PCM.....	13
9.	Conjunto básico de multiplexor y demultiplexor .....	15
10.	Diagrama de topología de estrella .....	16
11.	Topología árbol .....	17
12.	Topología de bus .....	18
13.	Topología anillo.....	19
14.	Fibra óptica .....	20
15.	Núcleo y revestimiento de la fibra óptica.....	23
16.	Señal muestreada .....	27
17.	Señal cuantificada.....	27
18.	Estructura de trama PCM-30.....	28
19.	Señales de alineación de trama .....	29
20.	Formato de trama T1 .....	32
21.	Formato de trama E1 .....	33
22.	Multiplexión PDH.....	35
23.	Jerarquías PDH.....	38

24.	Jerarquía PDH en USA, Europa y Japón.....	39
25.	Jerarquía PDH europea.....	41
26.	Estructura de la trama PDH a 8 448.....	43
27.	Estructura de trama PDH a 34 Mbit/s.....	44
28.	Estructura de trama PDH a 140 Mbit/s.....	45
29.	Demultiplexación PDH.....	47
30.	Estructura de una red SDH punto a punto.....	50
31.	Estructura de trama STM-1.....	58
32.	Estructura y contenido del SOH.....	60
33.	Puntero AU-4.....	63
34.	Codificación del puntero AU-4.....	64
35.	Estructura de la tara de trayecto de orden superior.....	66
36.	Estructura de la tara de trayecto de orden inferior.....	67
37.	Cross-conexión digital.....	68
38.	Evolución de la tecnología DWDM.....	70
39.	Ventana de operación de las redes DWDM.....	72
40.	Sistema DWDM.....	73
41.	Anillo SDH1.....	78
42.	Anillo SDH2.....	80
43.	Anillo SDH3.....	81
44.	Anillo DWDM.....	83
45.	Anillo SDH1 capacidad STM-4.....	84
46.	Anillo SDH2 capacidad STM-4.....	86
47.	Anillo SDH3 capacidad STM-4.....	88
48.	Sitio con caseta.....	97
49.	Foor plan caseta.....	97
50.	Sitio con BTS.....	98
51.	Escalerilla Powertray.....	99
52.	Tipos de escaleras de cables.....	99

53.	Dispersión cromática en una fibra mono modo.....	105
54.	Retraso de las componentes de la señal .....	106
55.	Evento reflectivo.....	109
56.	Atenuación por fusión .....	110
57.	Aumento de señal .....	110
58.	Zona muerta.....	111
59.	Ruido en mediciones.....	112
60.	Escuadras laterales.....	116
61.	Instalación de equipo en el rack.....	116
62.	Conexión de energía en el equipo .....	117
63.	Aterrizaje de equipos .....	118
64.	Equipo con módulos instalados.....	120
65.	Inserción de <i>tranciever</i> .....	120
66.	Etiqueta de identificación .....	122

## TABLAS

I.	Jerarquías PDH .....	35
II.	Principales características de niveles superiores de PDH .....	46
III.	Niveles jerárquicos de SDH y Sonet.....	57
IV.	Capacidad de transporte por sitio del anillo SDH1 .....	79
V.	Capacidad de transporte por sitio del anillo SDH2 .....	80
VI.	Capacidad de transporte por sitio del anillo SDH3 .....	82
VII.	Nueva capacidad de transporte por sitio del anillo SDH1 .....	85
VIII.	Nueva capacidad de transporte por sitio del anillo SDH2 .....	87
IX.	Nueva capacidad de transporte por sitio del anillo SDH3.....	89
X.	Tiempos de ejecución .....	90
XI.	Costo de materiales .....	91
XII.	Mediciones anillo SDH1 .....	113

XIII.	Mediciones anillo SDH2.....	113
XIV.	Mediciones anillo SDH3.....	114
XV.	Conexiones cable TSJ de 3 polos .....	117
XVI.	Módulos a utilizar.....	119
XVII.	Formato de presentación de circuitos a ser migrados .....	126
XVIII.	Pruebas de fuerza y energía .....	129
XIX.	Pruebas interconexión STM-N.....	129
XX.	Verificación de instalación eléctrica .....	130
XXI.	Verificación de instalación física .....	130
XXII.	Aceptación por parte del cliente.....	131
XXIII.	Criterios de evaluación. ....	131

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>AC</b>	Corriente alterna
<b>DC</b>	Corriente directa
<b>dB</b>	Decibeles
<b>dBm</b>	Decibeles referenciados a 1 miliwatt
<b>Ghz</b>	Giga hertz
<b>Gb/s</b>	Gigabit por segundo
<b>Kbit/s</b>	Kilobit por segundo
<b>Km</b>	Kilómetro
<b>Mbps</b>	Megabits por segundo
<b>μseg</b>	Microsegundo
<b>nm</b>	Nanómetro

**3G** Tercera generación de Tecnología telecomunicaciones móviles.

**V** Volts

## GLOSARIO

<b>ANSI</b>	Por sus siglas en inglés, American National Standards Institute.
<b>ATP</b>	Por sus siglas en inglés, Acceptance Test Protocol, pruebas finales realizadas a equipos para su aceptación.
<b>Birrefringencia</b>	Característica óptica que consiste en la separación de un rayo luminoso en dos.
<b>Bit</b>	<i>Bynari digit</i> (Digito binario).
<b>BTS</b>	Por sus siglas en inglés, Base Transceiver Station.
<b>CCITT</b>	Por sus siglas en inglés, Consultative Committee on International Telephone and Telegraph.
<b>Compansión</b>	Método aplicable a las señales para mejorar la transmisión de las mismas en canales limitados.
<b>Contenedor virtual</b>	Nombre con el que se designa a un tributario SDH que transporta una señal STM-1.
<b>DWDM</b>	Por sus siglas en inglés, Dense Wavelength Division Multiplexing.

<b>Fotograma</b>	Dícese de trama; unidad de transmisión de nivel de enlace.
<b>LED</b>	Ligth Emitting Diode, diodo emisor de luz o diodo luminiscente.
<b>Migraciones</b>	Proceso mediante el cual se realiza la exportación de tráfico de datos de un equipo hacia otro.
<b>Monomodo</b>	Calificativo para fibras ópticas que propagan la luz en una sola dirección dentro de ellas.
<b>Multimodo</b>	Calificativo para fibras ópticas que propagan la luz en varias direcciones dentro de ellas.
<b>Multiplexación</b>	Combinación de dos o más canales de información en un sólo medio de transmisión.
<b>NRZ</b>	<i>Non Return to Zero.</i>
<b>NSAP</b>	Por sus siglas en inglés Network Service Acces Point, es un formato OSI que define una dirección de red de 20 bytes.
<b>ODF</b>	Optical Distribution Frame.
<b>Onda portadora</b>	Es una forma de onda, generalmente sinusoidal que es modulada por señal que se desea trasmitir.

<b>OTDR</b>	Por sus siglas en inglés <i>Optical Time Domain Reflectometry</i> (reflectómetro óptico de dominio en el tiempo).
<b>Plesiócrono</b>	Del griego <i>plesio</i> , que significa cerca, y <i>chronos</i> tiempo.
<b>RDSI</b>	Red digital de servicios integrados.
<b>RF</b>	Frecuencias que son suficientemente altas para radiarse por una antena y propagarse por el espacio libre, llamadas radio frecuencias.
<b>Rollback</b>	Operación que devuelve la instalación de equipos a su estado previo.
<b>SDH</b>	Synchronous Digital Hierarchy, evolución de la jerarquía digital plesiócrona.
<b>Sinusoidal</b>	Señal analógica de forma curva continua.
<b>SMOP</b>	Por sus siglas en inglés, Service Method Of Procedure, documento el cual establece el procedimiento de instalación de equipos.
<b>SONET</b>	Por sus siglas en inglés, Synchronous Optical Network (red óptica sincronizada).

<b>STM-1</b>	Synchronous Transport Module 1, estructura de la trama estándar de SDH a velocidad de 155,52 Mbps.
<b>STM-16</b>	Synchronous Transport Module 16, estructura de la trama estándar de SDH a velocidad de 2 466,32 Mbps = 4 STM-4.
<b>STM-4</b>	Synchronous Transport Module 4, estructura de la trama estándar de SDH a velocidad de 622 Mbps = 4 STM-1.
<b>Tara</b>	Porción del flujo de bits que se resta después de deducir el flujo correspondiente a la carga útil.
<b>Tributarios</b>	Señal de velocidad más baja de entrada a un multiplexor para la multiplexación con otras señales de baja velocidad para formar un agregado de mayor velocidad. .
<b>Troncal</b>	Término asignado a la conexión que se encarga de transmitir tráfico de datos entre dos equipos.
<b>Unidad administrativa</b>	Conjunto de intervalos de tiempo, o bytes, en posiciones fijas dentro de un contenedor Virtual.
<b>Zona muerta</b>	Máximo intervalo en cuyo interior puede hacerse variar la señal de entrada en los dos sentidos, sin provocar una variación de la respuesta de un instrumento de medida.

## RESUMEN

El constante cambio en las tecnologías de transmisión de datos, así como el aumento en la demanda de ancho de banda en las telecomunicaciones, hace que las empresas se vean en la necesidad de implementar nuevos equipos capaces de soportar estas tecnologías.

De esta necesidad surge el desarrollo del presente trabajo de graduación, en el cual se puede encontrar dentro del capítulo I, el desarrollo del tema de la introducción a las telecomunicaciones, el cual abarca conceptos básicos que se utilizarán durante todo el desarrollo del mismo, entre éstos están: los tipos de modulaciones, las topologías de red y, finalmente, un pequeño desarrollo del tema correspondiente a la fibra óptica.

Seguidamente, dentro del capítulo II se desarrolla el tema de la jerarquía digital plesiócrona, abarcando desde una pequeña reseña histórica hasta los principios básicos de una red de jerarquía digital plesiócrona (PDH).

En el capítulo III se describe la teoría necesaria para obtener los conocimientos básicos de la tecnología jerarquía digital sincrónica (SDH) y de la Multiplexación por división en longitudes de onda densas (DWDM), tecnologías sobre las cuales está basado el desarrollo práctico del trabajo de graduación.

En el capítulo IV se muestra el desarrollo práctico, iniciando con los diagramas de las estructuras actuales y futuras de los anillos a trabajar, prosiguiendo con la documentación de la inspección que se realiza para las futuras instalaciones de equipo.

Adicionalmente, los cambios en la infraestructura se realizan con miras a la ampliación de la capacidad de transporte de datos, siempre buscando utilizar la estructura existente de fibra óptica, lo cual se realiza siempre teniendo como objetivo el realizar los cambios ocasionando el menor impacto económico. Derivado de esto, la reutilización de fibras se puede realizar siempre y cuando éstas cumplan los estándares de calidad para transmisión de datos de alta velocidad, lo cual es verificado mediante la caracterización de fibra.

Finalmente, se encuentra la documentación de los procedimientos a realizar para la implementación física, pero todos estos cambios a nivel físico conllevan, también, cambios a nivel de sistema de gestión, y éstos implican desde la creación de los nuevos equipos, hasta la migración del tráfico existente en los antiguos equipos. Todos estos procedimientos se realizan bajo estrictos lineamientos, los cuales son explicados dentro del capítulo V.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Mostrar los beneficios y ventajas que conlleva la expansión de capacidad de transporte de una red de tecnología 2G y migrarla hacia tecnología 3G mediante equipos modulares.

### **Específicos**

1. Mostrar el funcionamiento y la conveniencia que trae la utilización de la tecnología 3G en el transporte de datos.
2. Mostrar que la aplicación de tecnología 3G produce muchos beneficios económicos y en tiempo.
3. Mostrar cómo se diseña una red con tecnología DWDM, así como su implementación.
4. Determinar los procesos correctos para la implementación de equipos, como también los procesos adecuados para la migración de servicios, dentro del desarrollo de un proyecto de implementación de nuevas tecnologías, y poder realizarlo de la manera óptima.



## INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento de usuarios de los servicios de telecomunicaciones, así como el constante cambio en las tecnologías de transmisión y recepción de las mismas, crean la necesidad de crecimiento en la demanda del ancho de banda para el transporte de datos. Esto mismo crea la necesidad de realizar cambios en la infraestructura de la red de telecomunicaciones, esto con la finalidad de otorgar a los usuarios un servicio de óptima calidad y adaptarse a la demanda de los mismos. Para lo cual en la actualidad es necesario de la tecnología 3G en las empresas de telecomunicaciones, aunque la principal limitante de esta tecnología, actualmente es que está sujeta a su cobertura, la cual se concentra esencialmente en la ciudad.

Como respuesta a esta necesidad surge la implementación de nuevos sitios 3G, así como también la ampliación de varios sitios 2G en un servicio de E1 adicional para cubrir los requerimientos necesarios para servicios 3G, se tendrá que ampliar la capacidad de varios anillos en la red de transmisión. En la realización de dicha ampliación se utilizaron equipos de tecnología SDH y DWDM. Estas ampliaciones se desarrollaron bajo los siguientes aspectos: estudios de sitio, caracterización de fibras e implementación así como también la integración, comisionamiento y migración del tráfico por estos equipos.

Estos anillos se encontraban funcionando con equipos de tecnología SDH, con agregado STM-1, por lo que para ampliar su capacidad, éstos fueron sustituidos por equipos modulares con tecnología SDH con capacidad para agregado STM-4 y STM-16.

Adicionalmente se requirió de la habilitación de nuevas longitudes de onda en los equipos de tecnología DWDM.

Este último reemplazo se realizará para poder transportar todo el tráfico de los nuevos anillos STM-4, dado que este anillo DWDM es el encargado de recolectar el nuevo tráfico que generan los anillos SDH.





# 1. INTRODUCCIÓN A TELECOMUNICACIONES

Este primer capítulo describe la introducción a los conocimientos necesarios en telecomunicaciones, con la finalidad de ilustrar los desarrollos prácticos en aras de la integridad con el resto del texto. Las telecomunicaciones son parte esencial del diario vivir, por lo tanto, existe una gran variedad de literatura disponible. Parte de esta literatura se señala en la sección de referencia final de este texto, para obtener una información más completa, se puede consultar.

## 1.1. Conceptos básicos de modulación

El término modulación engloba el conjunto de técnicas para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una sinusoidal. Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que posibilita transmitir más información en forma simultánea, además de mejorar la resistencia contra ruidos e interferencias. Básicamente, la modulación consiste en hacer que un parámetro de la onda portadora cambie de valor de acuerdo con las variaciones de la señal moduladora, que es la información que se quiere transmitir.

## 1.2. Tipos de modulación

Dependiendo del parámetro sobre que se actúe, se tienen distintos tipos de modulación, entre los principales están las siguientes:

- Amplitud modulada (AM)
- Frecuencia modulada (FM)
- Modulación de fase (PM)
- Modulación de doble banda lateral (DSB)
- Modulación de banda lateral única (SSB o BLU)
- Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM)

### 1.2.1. Amplitud modulada (AM)

Es el proceso mediante el cual se cambia la amplitud de una portadora de frecuencia relativamente alta (RF), de acuerdo con la amplitud de una señal de información (modulante). Con la modulación de amplitud, la información se imprime sobre la portadora en forma de cambios de amplitud. La modulación de amplitud es una forma de modulación relativamente barata y de baja calidad, utilizada en la radiodifusión de señales de audio y video.

Un modulador AM es un aparato no lineal con dos señales de entrada de información: una señal portadora de amplitud constante y de frecuencia sencilla, y la señal de información. La información modula la portadora y puede ser una forma de onda de frecuencia simple o compleja compuesta de muchas frecuencias que fueron originadas de una o más fuentes.

Debido a que la información actúa sobre la portadora, se le llama señal modulante. La resultante se llama onda modulada o señal modulada.

- Al considerar la señal moduladora (señal de mensaje) como:

$$y_s(t) = A_s \cdot \cos(w_s \cdot t)$$

- Y señal portadora como:

$$y_p(t) = A_p \cdot \cos(w_p \cdot t)$$

- La ecuación de la señal moduladora AM es la siguiente:

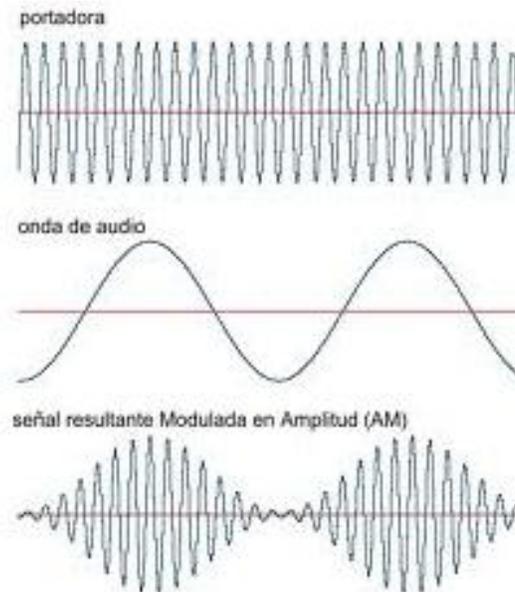
$$y(t) = A_p \cdot [1 + m \cdot x_n(t)] \cdot \cos(w_p \cdot t)$$

Donde

- $y(t)$  = señal modulada
- $x_n(t)$  = señal moduladora normalizada con respecto a su amplitud
- $m$  = índice de modulación =  $A_s / A_p$ .

Básicamente, en esta modulación se trata de multiplicar el mensaje a transmitir por la portadora y, a su vez, sumarle esa portadora. El espectro de frecuencias de la señal quedara trasladado a  $w_p$  radianes por segundo, tanto en la parte positiva como en la parte negativa, y su amplitud será en ambos casos, el producto de la señal moduladora por la amplitud de la portadora, sumándola a la amplitud de la portadora, y dividido por dos. El resultado se aprecia en las imágenes de la figura 1.

Figura 1. **Señal de amplitud modulada**



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Modulacionenamplitud.gif>. Consulta: 23 de marzo de 2011.

### 1.2.2. **Frecuencia modulada (FM)**

En telecomunicaciones, este sistema de transmisión es una modulación angular que transmite información a través de una onda portadora variando su frecuencia instantánea según las variaciones instantáneas de la señal de mensaje permaneciendo constantes en amplitud, lo cual crea un conjunto de complejas bandas laterales cuya extensión dependerá de la amplitud de la onda moduladora, como consecuencia de esto sufre un incremento del ancho de banda del canal.

La frecuencia modulada posee varias ventajas sobre el sistema de modulación de amplitud (AM), la más importante es que este sistema apenas es afectado por las interferencias y descargas estáticas en el ambiente.

Este sistema de modulación puede trabajar en bandas de frecuencias muy altas, en las cuales las interferencias en AM son importantes. El alcance en estas bandas está limitado con la finalidad de que puedan existir señales de la misma frecuencia situadas a unos cientos de kilómetros sin que se interfieran entre ellas. Esta característica de escasa longitud de onda de esta banda de frecuencias hace que las antenas sean de dimensiones pequeñas.

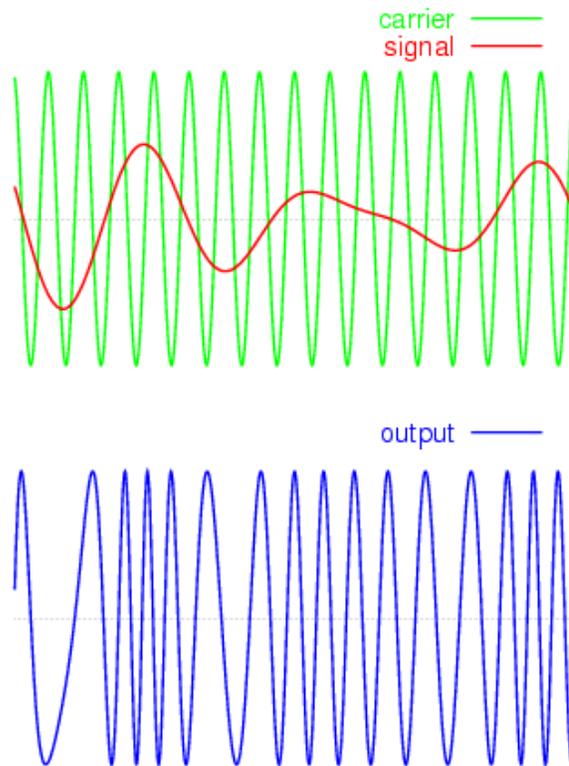
Una de sus principales limitantes es que la propagación de frecuencia modulada debe ser en línea de vista. Dado estas características su principal aplicación es la radiodifusión.

- La ecuación característica de una señal modulada en FM es la siguiente:

$$F_{fm} = \cos[w_c t + \alpha + k_f \int f(t) dt]$$

- De la cual se obtienen las siguientes formas de onda de modulación:

Figura 2. **Señal de frecuencia modulada**



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Frequency-modulation.png>. Consulta: 23 de marzo de 2011.

### 1.2.3. **Modulada de fase (PM)**

Es un sistema de modulación, en el cual se obtiene variando la fase de la señal portadora conforme el valor instantáneo de la amplitud de la señal moduladora, resultando una señal de modulada en fase. Esta modulación está basada en variaciones instantáneas de la fase de la portadora en relación a un ángulo de fase de referencia.

La modulación de fase no es muy utilizada, principalmente por la razón de que se requiere de equipos de recepción más complejos que en FM y puede presentar problemas de ambigüedad para determinar, por ejemplo, si una señal tiene una fase de  $0^\circ$  ó  $180^\circ$ . La ecuación de una señal modulada en PM es la siguiente

$$y(t) = A_p \cdot \cos[f_c + f_i(t)]$$

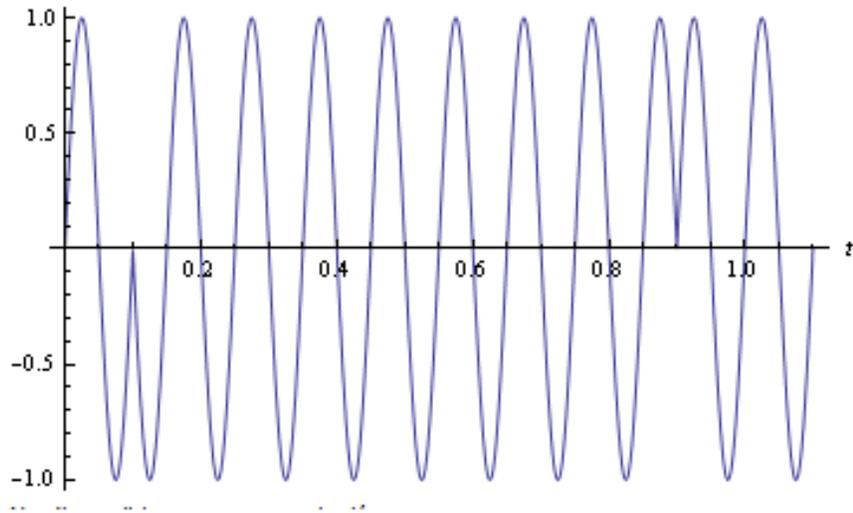
Donde:

- $y(t)$  = señal modulada
- $A_p$  = amplitud de la portadora
- $f_i(t) = f_i(t) = N_p X(t)$
- $N_p$  = índice de modulación de fase

La forma de las señales de modulación de frecuencia y modulación de fase son muy parecidas. De hecho, es imposible diferenciarlas sin tener conocimiento previo de la función de la modulación.

Una diferencia importante, entre la modulación en frecuencia y fase, es la manera en la que se define el índice de modulación. Para PM, el índice de modulación es proporcional a la amplitud de la señal modulante, independientemente de su frecuencia.

Figura 3. **Señal de fase modulada**



Fuente: <http://es.wikiversity.org/wiki/Archivo:PMfasePeriodica.gif>. Consulta: 23 de marzo de 2011.

El índice de modulación para una portadora de fase modulada se muestra matemáticamente como:

$$N_p = KV_m \text{ radianes}$$

Donde

- $V_m$  = Voltaje pico de la señal modulante (voltios).
- $KV_m$  = Desviación pico de fase (radianes)

#### **1.2.4. Modulación por amplitud de pulso (PAM)**

Por sus siglas en la lengua inglesa *pulse amplitude modulation* (modulación de amplitud de pulso). Esta manera de modulación de la señal no es más que recoger la señal analógica, y la muestrea a su vez, generando una serie de pulsos. Esta modulación es la más sencilla de las modulaciones digitales.

Esta técnica recoge información análoga, la muestrea y genera una serie de pulsos basados en los resultados de la prueba. Este tipo de modulación es la base de la modulación PCM la cual se describe a continuación.

#### **1.2.5. Modulación por código de pulso (PCM)**

Modulación por impulsos codificados por sus siglas en inglés PCM, es un procedimiento de modulación utilizado para transformar una señal analógica en una secuencia de bits (señal digital). Cada trama en PCM es una representación digital de una señal analógica en donde la magnitud de la onda es tomada en muestras o intervalos uniformes. En el proceso de conversión de la forma analógica a la forma digital aparecen términos matemáticos o lógicos básicos los cuales son:

- Muestro
- Cuantización
- Codificación

El muestro es el proceso de tomar medida instantáneas de una señal analógica cambiante en el tiempo.

La información muestreada permite reconstruir más o menos una representación de la forma de onda original. Sin embargo, las muestras son relativamente escasas (o infrecuentes), la información entre las muestras se perderá. El teorema de muestreo o teorema *Nyquist* establece que es posible capturar toda la información de la forma de onda si se utiliza una frecuencia de muestreo del doble de la frecuencia elevada contenida en la forma de onda.

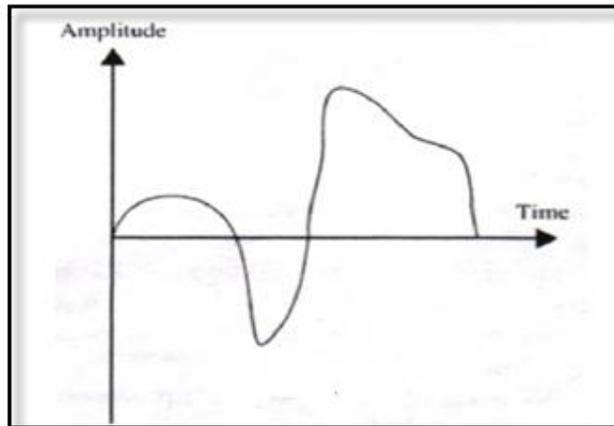
La cuantización es el siguiente proceso para la reducción de la señal análoga, este permite aproximar la muestra a uno de los niveles de una escala designada, por ejemplo, tomando una escala cuyos valores máximo y mínimo son quince y cero, respectivamente, y el rango está dividido en 16 niveles, la muestras son aproximadas a uno de estos niveles.

Cabe mencionar que el proceso de cuantización puede introducir un ruido de cuantización, el cual es una diferencia entre el valor original de la amplitud muestreada y el valor aproximado correspondiente a la escala seleccionada, donde la magnitud del error es determinada directamente proporcional a la fineza de la escala empleada.

Cumpliendo con los anteriores dos pasos se obtiene la modulación por amplitud de pulso (PAM), para obtener la modulación PCM se debe codificar la señal.

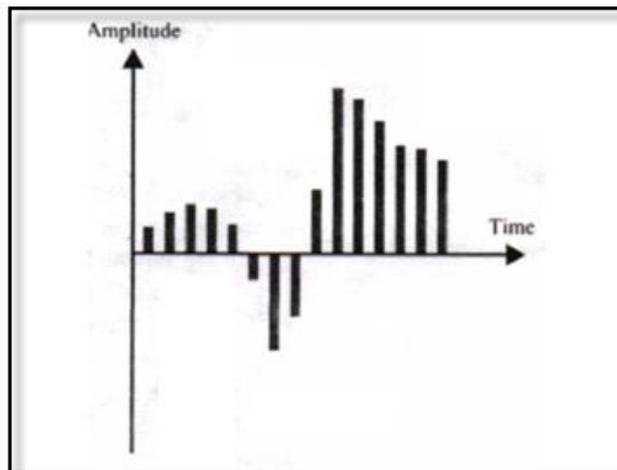
En la codificación, a cada nivel de cuantificación se le asigna un código binario distinto, con lo cual ya se tiene codificada y lista para ser transmitida, siendo esta la modulación PCM.

Figura 4. **Señal analógica de información**



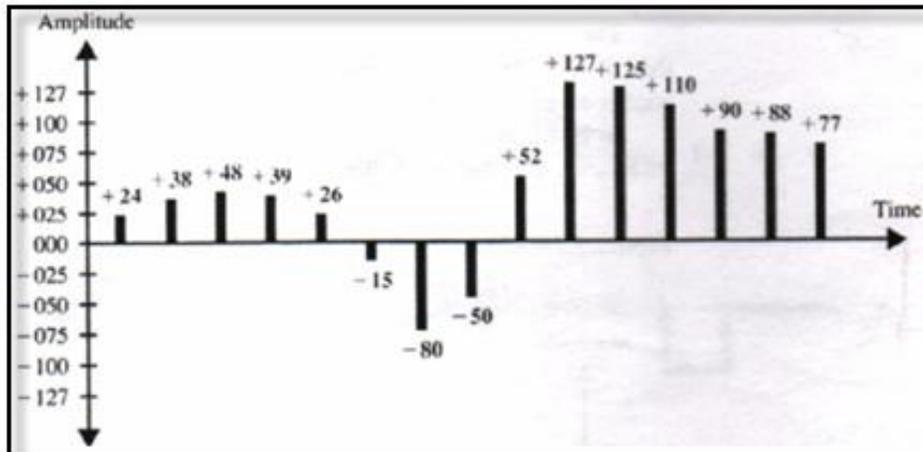
Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Se%C3%B1al\\_Continua.png](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Se%C3%B1al_Continua.png). Consulta: 23 de marzo de 2011.

Figura 5. **Señal PAM**



Fuente: <http://www.google.com.gt/imgres?q=Señal+PAM&um=1&hl=es&sa=N&biw=1280&bih=699&tbn=isch&tbnid=LZwJHYuaCcqn0M:&imgrefurl>. Consulta: 23 de marzo de 2011.

Figura 6. Señal PAM cuantificada



Fuente: <http://www.google.com.gt/imgres?q=Señal+PAM&um=1&hl=es&sa=N&biw=1280&bih=699&tbnid=tU4hoEN5qBB-hM:&imgrefurl>. Consulta: 23 de marzo de 2011.

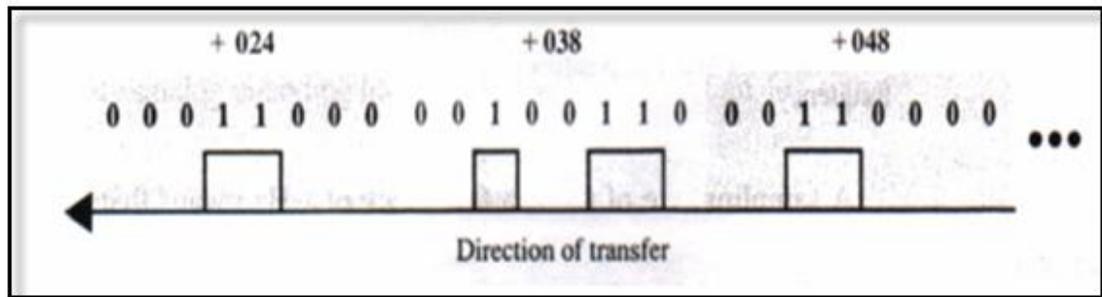
Figura 7. Codificación usando signo y magnitud

+024	00011000	-015	10001111	+125	01111101
+038	00100110	-080	11010000	+110	01101110
+048	00110000	-050	10110010	+090	01011010
+039	00100111	+052	00110110	+088	01011000
+026	00011010	+127	01111111	+077	01001101

Sign bit  
 + is 0 - is 1

Fuente: <http://www.todomonografias.com/telecomunicaciones/modulacion-pcm-pulse-code-modulation/>. Consulta: 23 de marzo de 2011.

Figura 8. **Señal PCM**



Fuente: <http://www.todomonografias.com/telecomunicaciones/modulacion-pcm-pulse-code-modulation/>. Consulta: 23 de marzo de 2011.

#### 1.2.4. **Multiplexión**

Es una forma de transmisión de información en la cual un canal de comunicación lleva varias transmisiones al mismo tiempo. El número exacto de las transmisiones simultáneas depende del tipo de canal de comunicación y el precio de transmisión de información. En consecuencia, el canal de comunicación es compartido de tal modo que varias señales independientes puedan ser transmitidas sobre dicho canal, método el cual es conocido como la multiplexión. Los esquemas de multiplexión pueden ser divididos en dos categorías básicas:

- Multiplexación por división de frecuencia FDM
- Multiplexación por división de tiempo TDM

### **1.2.6.1. Multiplexación por división de frecuencia (FDM)**

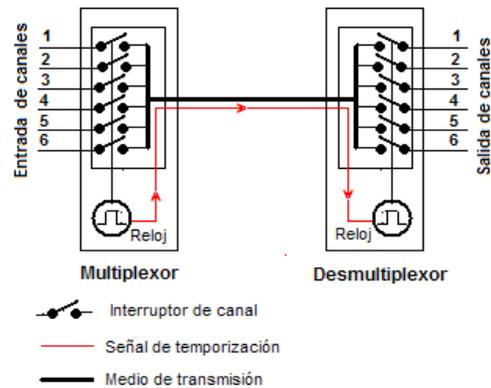
La multiplexación por división de frecuencias es la técnica utilizada en múltiples protocolos de comunicaciones, para dividir el ancho de banda disponible de un medio físico en varios canales lógicos independientes más pequeños, con cada uno de estos canales se tiene una pequeña porción del ancho de banda. La cual convierte cada fuente de varias, que originalmente ocupaban un mismo espectro de frecuencias, a una banda distinta de frecuencias, y se transmite en forma simultánea por un sólo medio de transmisión. Así de esta se pueden transmitir muchos canales de banda relativamente angosta por un solo sistema de transmisión de banda ancha.

### **1.2.6.2. Multiplexación por división de tiempo (TDM)**

Este es otro método popular de utilizar la capacidad de un canal físico con eficacia. En este método cada usuario es asignado en un pequeño intervalo de tiempo durante el cual se transmite un mensaje. Así, el tiempo total disponible en el canal es dividido y cada usuario es asignado a un espacio de tiempo. También se podría decir, que es un proceso digital que se puede aplicar cuando la capacidad de la tasa de datos de transmisión es mayor a la tasa de datos necesaria requerida por los dispositivos emisores y receptores.

En TDM, el usuario envía el mensaje secuencialmente uno tras otro; sin embargo, cada usuario puede utilizar la cantidad total de la anchura de banda del canal durante el período el cual está transmitiendo o tiene control del canal. Este tipo de multiplicación es muy utilizado en la actualidad, especialmente en los sistemas de transmisión digital.

Figura 9. **Conjunto básico de multiplexor y demultiplexor**



Fuente: elaboración propia.

### 1.3. Topologías de red

El término topología se refería a la forma la cual está diseñada una red. La topología de red es definida como la cadena de comunicación usada por los nodos que conforman una red para comunicarse entre sí. En algunos casos se utiliza la palabra arquitectura en un sentido relajado para hablar a la vez de la disposición física del cableado y de cómo el protocolo considera dicho cableado, la topología de red la determina únicamente la configuración de las conexiones entre nodos.

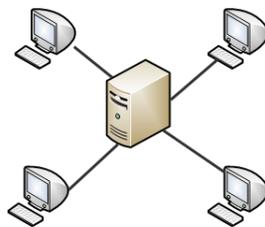
La distancia entre nodos, las interconexiones físicas, las tasas de transmisión y los tipos de señales no pertenecen a la topología de red, aunque pueden verse afectados por las mismas. Entre las topologías de red están las siguientes:

- Topología estrella
- Topología árbol
- Topología de bus
- Topología de anillo
- Topología malla
- Topología totalmente conexa

### 1.3.1. Topología estrella

En esta topología cada dispositivo de la red posee solamente un enlace punto a punto dedicado con el controlador central, esta configuración no permite el tráfico directo entre los dispositivos. El controlador actúa como intercambiador, si un dispositivo quiere enviar datos a otro, envía los datos al controlador, que los retransmite al dispositivo final.

Figura 10. Diagrama de topología de estrella



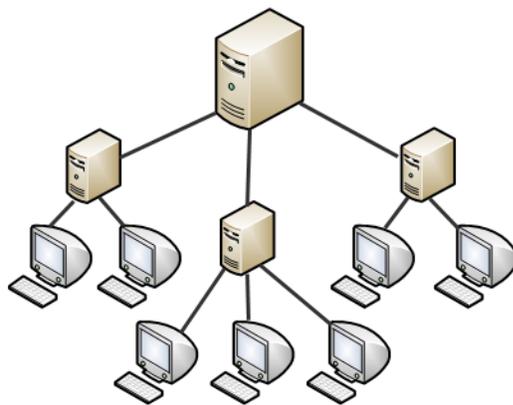
Fuente: elaboracion propia.

Una topología de estrella es barata dado que cada dispositivo necesita solamente un enlace y un puerto de entrada/salida para conectarse a cualquier número de dispositivos. Este factor hace que también sea más fácil de instalar y reconfigurar. Además, es necesaria la instalación de menos cables, y la conexión, desconexión y traslado de dispositivos afecta solamente a una conexión, la que existe entre el dispositivo y el conector.

### 1.3.2. Topología árbol

La topología árbol es una variante de la de estrella, como en la estrella los nodos del árbol están conectados a un concentrador central que controla el tráfico de la red. Sin embargo, no todos los dispositivos se conectan directamente al concentrador central. La mayoría de los dispositivos se conectan a un concentrador secundario, que a su vez se conecta al concentrado central.

Figura 11. Topología árbol



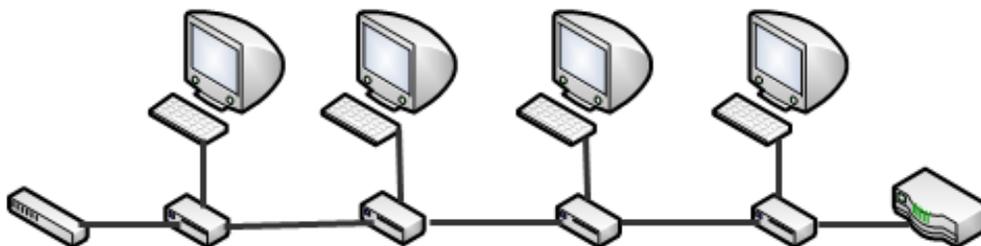
Fuente: elaboración propia.

El controlador central del árbol es un concentrador activo. Un concentrador activo contiene un repetidor, es decir, un dispositivo hardware que genera los patrones de bits recibidos antes de ser retransmitidos. Retransmitir las señales de esta forma amplifica su potencia e incrementa la distancia la cual puede viajar la señal. Los concentradores secundarios pueden ser activos o pasivos. Un concentrador pasivo proporciona solamente una conexión física entre los dispositivos conectados.

### 1.3.3. Topología bus

Una topología de bus es un multipunto. Un cable largo actúa como una red troncal que conecta todos los dispositivos de la red. Los nodos se conectan al bus mediante cables de conexión. Un cable de conexión, es una conexión que va desde el dispositivo al cable principal.

Figura 12. Topología de bus



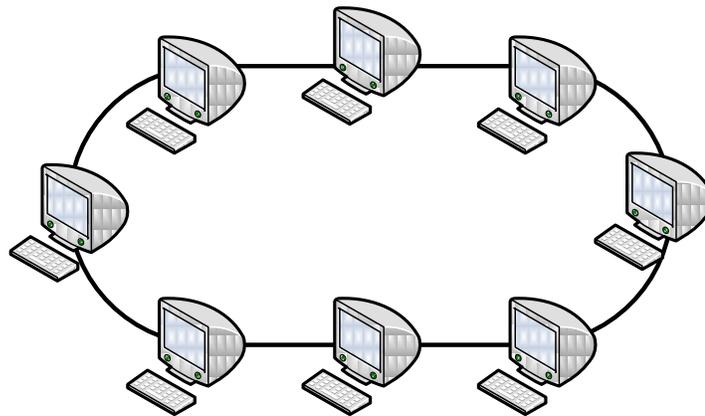
Fuente: elaboración propia.

Entre las ventajas de la topología de bus se incluye la sencillez de la instalación. El cable troncal puede tenderse por el camino más eficiente y después, los nodos se pueden conectar al mismo mediante línea de conexión de longitud variable.

### 1.3.4. Topología en anillo

En una topología en anillo cada punto de conexión tiene una línea de conexión dedicada punto a punto con los dispositivos que se encuentran en ambos laterales. La señal pasa a lo largo del anillo en una dirección, o de dispositivo a dispositivo, hasta que alcanza su destino. Cada dispositivo del anillo incorpora un repetidor.

Figura 13. Topología anillo



Fuente: elaboración propia.

Un anillo es relativamente fácil de instalar y reconfigurar. Cada dispositivo está enlazado solamente a sus vecinos inmediatos, y para añadir o quitar dispositivos, solamente hay que mover dos conexiones. Las únicas restricciones están relacionadas con aspectos del medio físico y el tráfico.

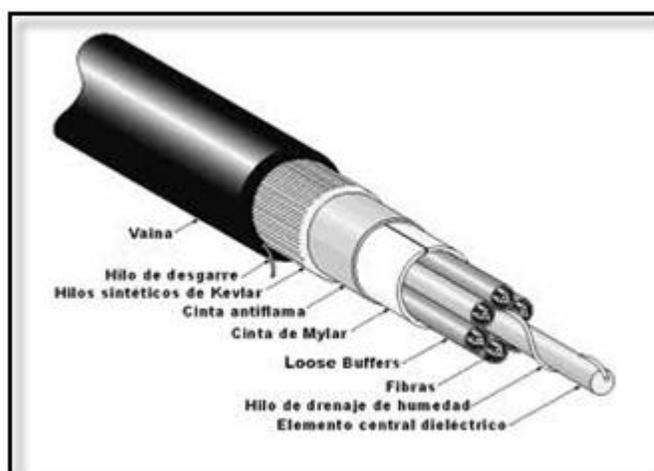
Además, los fallos se pueden aislar de forma sencilla. Generalmente, en un anillo hay una señal en circulación continuamente.

## 1.4. Fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión empleado, habitualmente en redes de datos; un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el interior de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total, en función de la ley de Snell. La fuente de luz puede ser láser o un led.

Las fibras se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de radio o cable. Son el medio de transmisión por excelencia al ser inmune a las interferencias electromagnéticas, también se utilizan para redes locales, en donde se necesite aprovechar las ventajas de la fibra óptica sobre otros medios de transmisión.

Figura 14. Fibra óptica



Fuente: <http://www.yio.com.ar/fibras-opticas/>. Consulta: 15 de abril de 2011.

### **1.4.1. Historia**

El uso de la luz para la codificación de señales no es nuevo, los antiguos griegos usaban espejos para transmitir información, de modo rudimentario, usando luz solar. En 1792, Claude Chappe diseñó un sistema de telegrafía óptica, que mediante el uso de un código y torres y espejos distribuidos a lo largo de los 200 km que separan Lille y París, conseguía transmitir un mensaje en tan sólo 16 minutos.

La gran novedad aportada en esta época, es la de haber conseguido domar la luz, de modo que sea posible que se propague dentro de un cable tendido por el hombre.

El uso de la luz guiada, de modo que no expanda en todas direcciones, sino en una muy concreta y predefinida se ha conseguido mediante la fibra óptica, que se puede pensar como un conducto de vidrio protegido por un material aislante que sirve para transportar la señal lumínica de un punto a otro.

Solamente en 1950, las fibras ópticas comenzaron a interesar a los investigadores, con muchas aplicaciones prácticas que estaban siendo desarrolladas. En 1952, el físico Narinder Singh Kapany, apoyándose en los estudios de John Tyndall, realizó experimentos que condujeron a la invención de la fibra óptica. Uno de los primeros usos de la fibra óptica fue emplear un haz de fibras para la transmisión de imágenes, que se usó en el endoscopio médico. Usando la fibra óptica, se consiguió un endoscopio semiflexible, el cual fue patentado por la universidad de Míchigan en 1956.

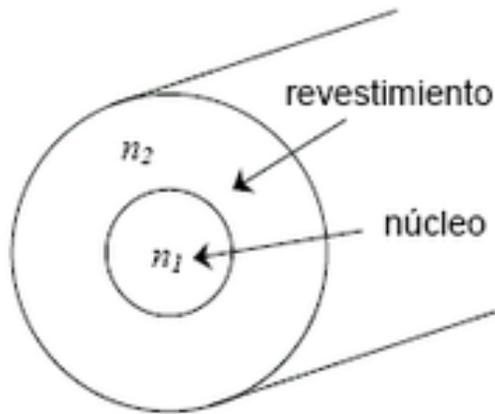
En este invento se usaron nuevas fibras forradas con un material de bajo índice de refracción, ya que antes se impregnaban con aceites o ceras. En esta misma época, se empezaron a utilizar filamentos delgados como el pelo que transportaban luz a distancias cortas, tanto en la industria como en la medicina, de forma que la luz podía llegar a lugares que de otra forma serían inaccesibles. El único problema era que esta luz perdía hasta el 99% de su intensidad al atravesar distancias de hasta 9 metros de fibra.

#### **1.4.2. Características**

La fibra óptica es una guía de ondas dieléctrica que opera a frecuencias ópticas. Cada filamento consta de un núcleo central de plástico o cristal (óxido de silicio y germanio) con un alto índice de refracción, rodeado de una capa de un material similar con un índice de refracción ligeramente menor. Cuando la luz llega a una superficie que limita con un índice de refracción menor, se refleja en gran parte, cuanto mayor sea la diferencia de índices y mayor el ángulo de incidencia, se habla entonces de reflexión interna total.

En el interior de una fibra óptica, la luz se va reflejando contra las paredes en ángulos muy abiertos, de tal forma que prácticamente avanza por su centro. De este modo, se pueden guiar las señales luminosas sin pérdidas por largas distancias.

Figura 15. **Núcleo y revestimiento de la fibra óptica**



Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Optical\\_fiber.png](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Optical_fiber.png). Consulta: 18 de abril de 2011.

### **1.4.3. Funcionamiento**

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

Su funcionamiento se basa en transmitir por el núcleo de la fibra un haz de luz, tal que éste no atraviese el revestimiento, sino que se refleje y se siga propagando. Esto se consigue si el índice de refracción del núcleo es mayor al índice de refracción del revestimiento, y también si el ángulo de incidencia es superior al ángulo límite.

### **1.4.4. Tipos de fibras**

Las diferentes trayectorias que puede seguir un haz de luz en el interior de una fibra se denominan modos de propagación. Y según el modo de propagación básicamente existen dos tipos de fibra óptica:

- Fibra multimodo: es aquella en la que los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino. Este tipo de fibra puede tener más de mil modos de propagación de luz. Son utilizadas únicamente en aplicaciones de cortas distancias menores a 1 km.
- Fibra monomodo: es una fibra sobre la cual la luz puede propagarse de una sola forma o modo. Esto se logra reduciendo el tamaño del núcleo de las mismas. A diferencia de las fibras multimodo éstas logran alcanzar grandes distancias (hasta 400 Km).

#### **1.4.5. Aplicaciones**

Su uso es muy variado: desde comunicaciones digitales, pasando por sensores y llegando a usos decorativos, como árboles de navidad, veladores y otros elementos similares.

Aplicaciones de la fibra monomodo: cables submarinos, cables interurbanos, etc. Pero la principal función de las mismas es la transmisión de información en forma de luz. A continuación se mencionan algunos otros usos dados a la fibra óptica:

- Se puede usar como una guía de onda en aplicaciones médicas o industriales en las que es necesario guiar un haz de luz hasta un blanco que no se encuentra en la línea de visión.
- La fibra óptica se puede emplear como sensor para medir tensiones, temperatura, presión así como otros parámetros.

- Es posible usar latiguillos de fibra junto con lentes para fabricar instrumentos de visualización largos y delgados llamados endoscopios. Los endoscopios se usan en medicina para visualizar objetos a través de un agujero pequeño. Los endoscopios industriales se usan para propósitos similares, como por ejemplo, para inspeccionar el interior de turbinas.
- Las fibras ópticas se han empleado también para usos decorativos incluyendo iluminación, árboles de navidad.
- Las fibras ópticas son muy usadas en el campo de la iluminación. Para edificios donde la luz puede ser recogida en la azotea y ser llevada mediante fibra óptica a cualquier parte del edificio.

#### **1.4.6. Comunicaciones con fibra óptica**

La fibra óptica se emplea como medio de transmisión para las redes de telecomunicaciones, ya que por su flexibilidad los conductores ópticos pueden agruparse formando cables. Las fibras usadas en este campo son de plástico o de vidrio, y algunas veces de los dos tipos. Para usos interurbanos son de vidrio, por la baja atenuación que tienen.

##### **1.4.6.1. El par trenzado de fibra óptica (FTP)**

La fibra óptica posee una variante llamada FTP (No confundir con el protocolo FTP). El FTP, o par trenzado de fibra óptica en español, es la combinación de la fiabilidad del par trenzado y la velocidad de la fibra óptica, esta característica se emplea sólo en instalaciones científico-militares gracias a la velocidad de transmisión 10gb/s, no está disponible para el mercado civil actualmente, su costo es 3 veces mayor al de la fibra óptica.

Para las comunicaciones se emplean fibras multimodo y monomodo, usando las multimodo para distancias cortas (hasta 5 000 m) y las monomodo para acoplamiento de larga distancia. Debido a que las fibras monomodo son más sensibles a los empalmes, soldaduras y conectores, las fibras y los componentes de éstas son de mayor costo que los de las fibras multimodo.

### **1.5. Modulación PCM 30**

Se describe la modulación PCM 30 como una aplicación de la modulación por impulsos codificados (PCM), en la que 30 señales analógicas con distintas características por medio de la transformación de cada una de ellas en un canal de 64 Kb/s cada uno, y luego se combinan estos a partir de una multiplexión en el tiempo, llegando así a 2048 Kb/s.

Este término se utiliza, actualmente sobre todo como sinónimo de la codificación de 30 canales cada uno con una tasa de señalización de 64 Kbit/s. Esta tasa, también se utiliza en la primera fase del europeo de PDH, por lo que PCM 30 también es conocido como E1.

El procedimiento de formación de una PCM-30, inicia cuando la señal original luego de ser pasada por un filtro pasa bajos, se procede a muestrear. Tomando como ejemplo una señal de voz. Debido a que el ancho de banda de una señal vocal no supera los 3,4 Khz, ya que se debe cumplir el teorema de muestreo, es decir debe tomarse muestras a una frecuencia de la doble de la máxima presente, entonces se ha estipulado muestrear la señal de voz a una frecuencia  $f_s = 8\ 000\ \text{Hz}$ ; es decir una muestra cada  $125\ \mu\text{s}$ . Esto se muestra en la figura 16.

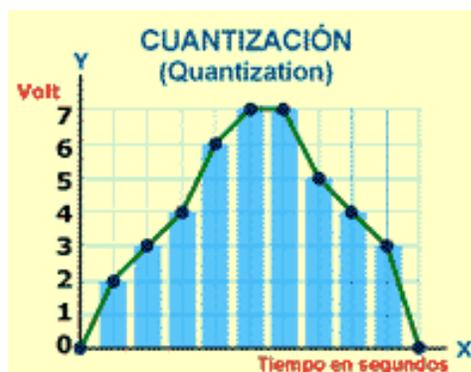
Figura 16. **Señal muestreada**



Fuente: <http://www.ecured.cu/index.php/Archivo:Muestreo.gif>. Consulta: 28 de marzo de 2011.

Luego se procede a la cuantización de la señal muestreada, la cual se efectúa a partir de una ley de compasión conocida como la ley  $\mu$ . La señal consiste en dividir la señal en una cantidad de niveles fijos los cuales, luego son codificados, cada uno con una palabra binaria de 8 bits como se muestra en la figura 17.

Figura 17. **Señal cuantificada**



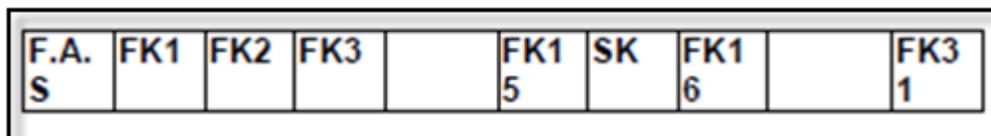
Fuente: <http://www.ecured.cu/index.php/Archivo:Cuantificar.gif>. Consulta: 28 de marzo de 2011.

El gráfico es meramente ilustrativo, ya que los niveles de cuantificación no siguen un espaciamiento lineal sino el correspondiente a la ley  $\mu$ . Estas palabras de 8 bits (1 byte), cada byte correspondiente a una muestra de cada señal es codificada con *none return zero*, y luego las 30 señales son multiplexadas acomodando un byte por vez de cada una de las señales.

### 1.5.1. Estructura de la trama

Por cada uno de los 30 circuitos telefónicos que se transmiten en cada una de las direcciones 8 000 muestras por segundo en formas de palabras PCM (señales de carácter) de 8 bits. Es decir, en un período de 125  $\mu$ s han de transmitirse 30 palabras PCM de 8 bits cada una. Además, se transmiten otras dos señales de 8 bits cada una: una para la señalización y la otra, alternativamente para la alineación de trama y señal de alarmas. Las 30 palabras PCM junto con las otras señales de 8 bits constituyen una trama. Las tramas se transmiten en sucesión directa. La estructura de la trama, entonces sería como se muestra en la figura 18.

Figura 18. Estructura de trama PCM-30

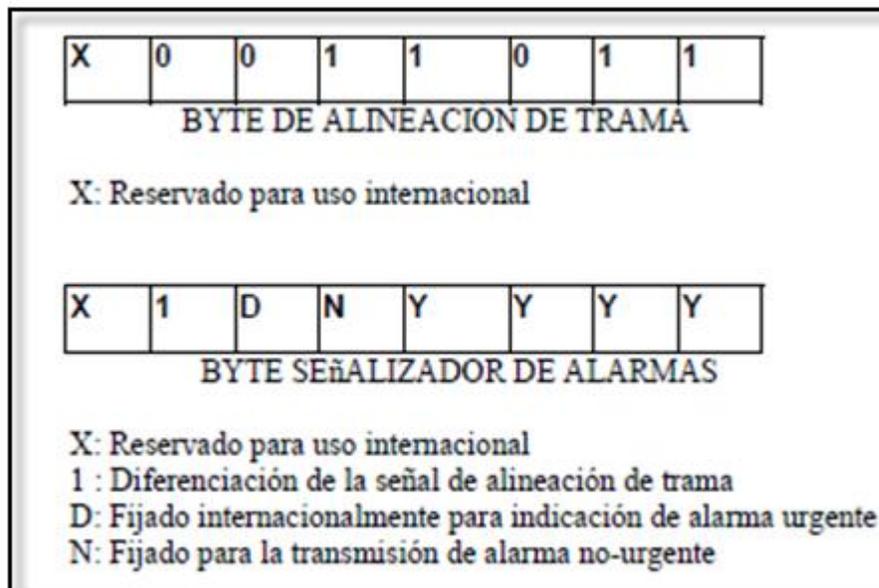


Fuente: <http://dc184.4shared.com/doc/sgS1AEbK/preview.html>. Consulta: 28 de marzo de 2011.

El *time slot* 0 corresponde a la alineación de trama, y el *time slot* 16 (SK) correspondes a la señalización. El resto de los canales son canales de voz, en cada uno de estos *time slot* está contenida la palabra de 1 *byte*, correspondiente a una muestra.

El *time slot* 0, como se mencionó antes, viaja alternadamente la información que permite la alineación de la trama, y la que permite transmitir la información de las alarmas correspondientes a las posibles fallas existentes, estos bytes se muestran a continuación:

Figura 19. **Señales de alineación de trama**



Fuente: <http://dc184.4shared.com/doc/sgS1AEbK/preview.html>. Consulta: 28 de marzo de 2011



## 2. JERARQUÍA DIGITAL PLESIÓCRONA

### 2.1. Historia

Hasta finales de 1950, el sistema telefónico consistía casi en su totalidad de líneas de transmisión analógicas. Las líneas troncales entre las centrales llevaban la voz de múltiples canales al mismo tiempo utilizando multiplexación por división de frecuencia (FDM). Esto implicó el uso de costoso moduladores, demoduladores y filtros aumentando costos comerciales para cada canal de voz.

Esto creó la necesidad de tener más equipos de intercambio de costo-beneficio. La digitalización de un canal analógico en un canal digital de 64 Kbps, utilizando el código de modulación de impulsos (PCM) hizo posible el uso de multiplexación por división de tiempo (TDM), para multiplexar un número de canales de voz en una línea principal conocida como T-portador en América del Norte y Japón (el equivalente europeo utiliza en la mayoría del resto del mundo se llama *E-carrier*). Líneas T1 fueron originalmente de cuatro par de hilos de cobre o cable coaxial, pero éstas han sido prácticamente sustituidas por la fibra óptica.

El transportista T1, originalmente llevaba los 24 canales de voz digital, cada uno con una velocidad de 64 Kbps. Cada marco de TDM en la línea T1 llevado a 24 bytes de datos de voz (8 bits por canal de voz). Debido a que cada byte de datos representa una muestra de voz 125  $\mu$ s, la velocidad de fotogramas necesarios fue de 8 000 fotogramas por segundo.

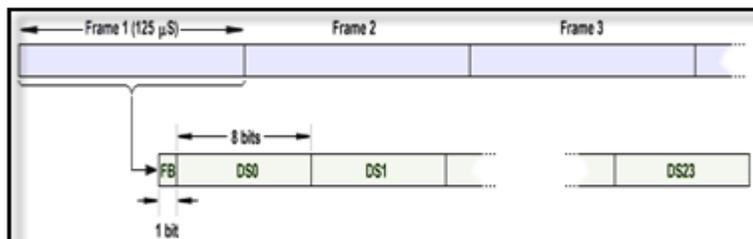
La velocidad de bit total de una línea T1, es por lo tanto  $8\,000 \times ((24 \times 8) + 1) = 1,544$  Mbps, ha sido designada como una señal digital de nivel 1 o DS1.

El sistema *E-carrier* desarrollado por la Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT) se benefició de las lecciones aprendidas durante el desarrollo de la tecnología *T-carrier*, para perfeccionar y mejorar el sistema anterior.

E0 el canal básico de voz tiene una tasa de bits de 64 Kbps, un E1 tiene un total de 32 ranuras de tiempo por trama. Cada intervalo de tiempo sólo consta de 8 bits dando una velocidad de bit total de  $8\,000 \times 32 \times 8 = 2\,048$  Mbps. Un intervalo de tiempo (TS0) está reservado para enmarcar, mientras que un segundo intervalo de tiempo (TS16) puede ser usado para fines de señalización, es decir, para controlar el establecimiento de llamadas y la terminación.

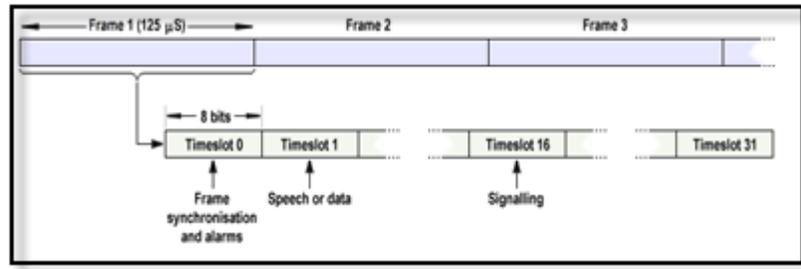
La T1 y E1 son el primer nivel de multiplexación en la jerarquía digital pliesíncrona, los cuales se pueden observar en la figura 20 y 21 respectivamente.

Figura 20. **Formato de trama T1**



Fuente: GÓMEZ, Guillermo E. Manual laboratorio de comunicación II. p. 37.

Figura 21. Formato de trama E1



Fuente: GÓMEZ, Guillermo E. Manual laboratorio de comunicación II. p. 37.

## 2.2. Conceptos de PDH

Para poder entender de mejor manera, la tecnología PDH es necesario tener ciertos conocimientos básicos los cuales son desarrollados a continuación.

### 2.2.1. Definición

Las señales de datos que tienen el mismo rango de transmisión pero son provenientes de distintas fuentes, siempre tienen un desplazamiento mayor o menor del valor nominal de su tasa de *bits* (*bit rate*), estos tienen pequeñas variaciones entre ellos. Por otra parte, cada una de las señales es sincrónica con las otras, es por esto que a este tipo se les conoce con el nombre de, señales plesiócronicas.

La jerarquía digital plesiócrona, conocida como PDH, es una tecnología utilizada en telecomunicaciones, que permite enviar varios canales sobre un mismo medio, utilizando técnicas de multiplexación por división de tiempo y equipos digitales de transmisión.

El término plesiócrono se deriva del griego *plesio*, cercana, 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, 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 las que se construyen las tramas. Un ejemplo más claro de este sistema sería la comparación de de dos relojes los cuales, nominalmente, funcionan a la misma velocidad, señalando 60 segundos cada minuto. Sin embargo, al no existir enlace alguno entre los dos relojes que garantice que ambos van exactamente a la misma velocidad, es probable que uno de ellos vaya ligeramente más rápido que el otro.

### **2.2.2. Principios básicos**

Antes del surgimiento de la jerarquía digital síncrona (SDH), las transmisiones se hacían básicamente utilizando PDH, la idea básica es realizar una serie de multiplexaciones de señales provenientes de fuentes distintas, para así formar una señal común con un *bit rate* superior. Realizando determinada cantidad de multiplexaciones, se van formando las diferentes jerarquías propias de PDH.

Dichas jerarquías están estandarizadas, pero estos estándares no son iguales en todo el mundo, a continuación la tabla I detalla los estándares que han asumido los distintos orígenes.

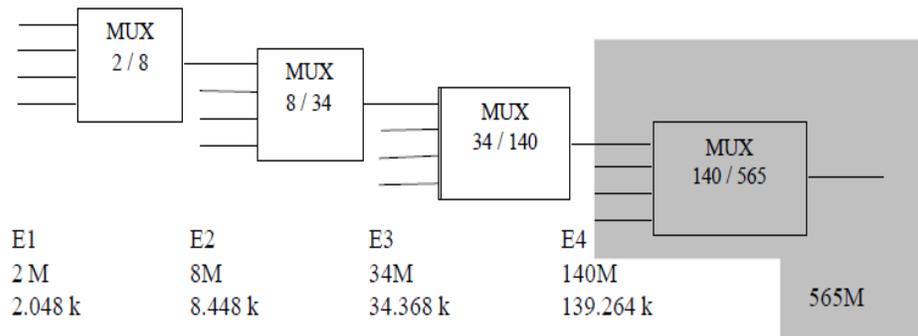
Tabla I. **Jerarquías PDH**

<b>Europa</b>	<b>USA</b>	<b>Japón</b>
2 Mb/s	1.5 Mb/s	6 Mb/s
8 Mb/s	6 Mb/s	32 Mb/s
34 Mb/s	45 Mb/s	97 Mb/s
140 Mb/s		

Fuente: elaboración propia.

A estas velocidades, por ejemplo el caso de la europea se llega realizando una serie de multiplexaciones, las cuales se realizan tomando cuatro líneas de la jerarquía inmediata inferior, y multiplexando las mismas en tiempo se llegan a la siguiente jerarquía. La figura 22 muestra cómo se realizan las sucesivas multiplexaciones hasta llegar a la jerarquía más alta que se encuentra estandarizada.

Figura 22. **Multiplexión PDH**



Fuente: GÓMEZ, Guillermo E. Manual laboratorio de comunicación II. p. 7.

La multiplexación en la jerarquía PDH, se realiza utilizando el método de entrelazado bit a bit. Esto quiere decir que la señal de entrada de un dado multiplexor aparecerá solamente cada 4 bits de la señal de salida del mismo. En la multiplexión habría que diferenciar dos casos:

- Las señales originales son síncronas, por ejemplo; tienen el mismo reloj. Esto es válido para un sistema PCM 30, donde el reloj de cada señal de 64 Kb/s y de 2 Mb/s son derivadas a partir del mismo reloj central. En este caso el proceso de multiplexión se reduce a una simple conversión paralelo- serie de las palabras codificadas de 8 bits.
- Las señales originales no son síncronas, por ejemplo: sus relojes provienen de distintos lugares. Esto es válido para la multiplexión de las señales de salida originadas por varios sistemas PCM 30 cuyos relojes son generados en cada uno de los sistemas en una forma autónoma. Aquí es necesario tomar medidas apropiadas con el fin de compensar las diferencias entre los relojes.

### **2.2.3. Jerarquía PDH**

PDH define un conjunto de sistemas de de transmisión que utiliza dos pares de alambres (unos para transmitir y otro para recibir) y un método de multicanalización por división de tiempo (TDM) para interpolar múltiples canales de voz y datos digitales.

Existen tres conjuntos diferentes de estándares PDH utilizados en las comunicaciones mundiales:

T1: el cual define el estándar PDH de Norteamérica que consiste de 24 canales de 64 Kbps (canales DS-0) dando una capacidad total de 1,544 Mbps. También están disponibles T1's fraccionales.

E1: el cual define el estándar PDH europeo, pero que es utilizado en el resto del mundo. E1 consiste de 30 canales de 64 Kbps (canales E0) y 2 canales reservados para la señalización y la sincronía, la capacidad total de este sistema nos da 2,048 Mbps, pero también están disponibles E1's fraccionales.

J1: el cual define el estándar PDH japonés para una velocidad de transmisión de 1,554 Mbps, consiste de 24 canales de 64 Kbps (canales DS-0), aunque también están disponibles J1 fraccionales.

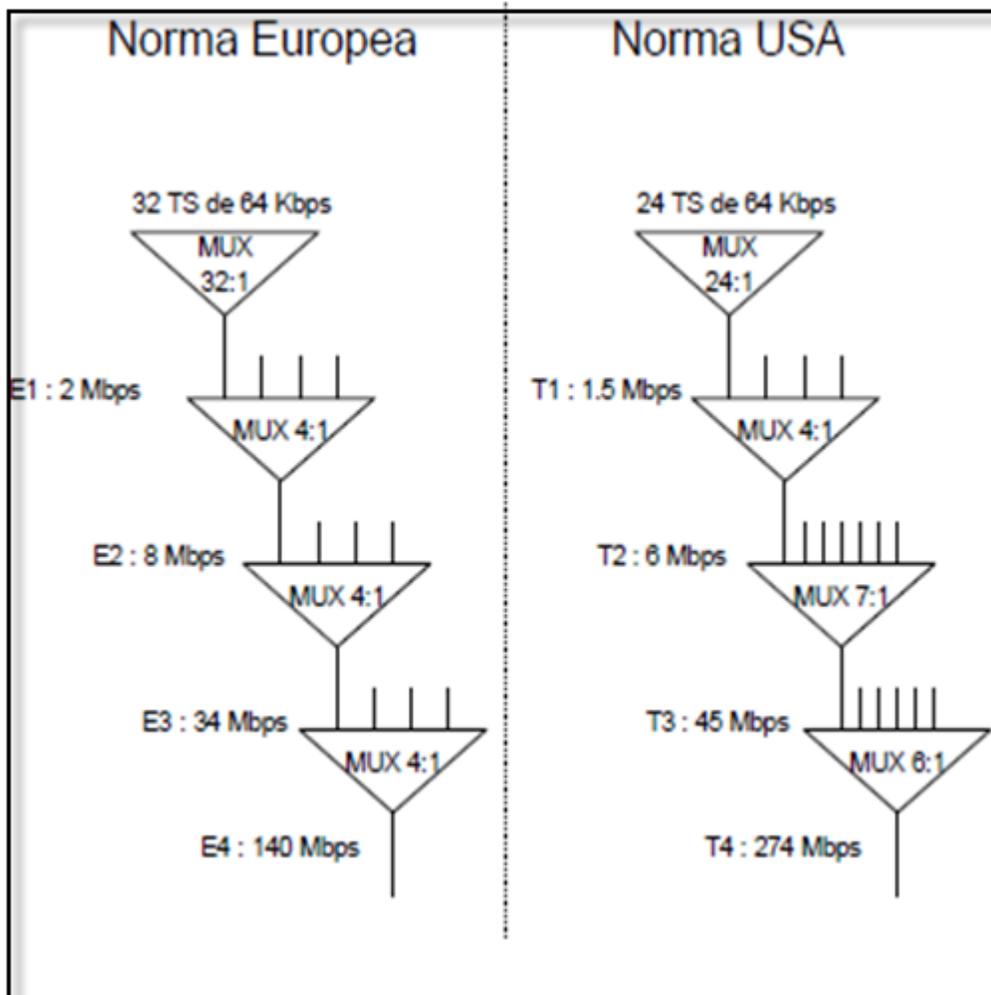
La longitud de la trama del estándar J1 es de 193 bits (24 x 8 bit, canales de voz/datos más de un bit de sincronización), el cual es transmitido a una tasa de 8 000 tramas por segundo. Así,  $193 \text{ bits/trama} \times 800 \text{ tramas/segundo} = 1544000 \text{ bps}$  o 1,544 Mbps.

Pero así como PDH fue un parte aguas en los sistemas de transmisión, tiene muchas debilidades, alguna de ellas se describe a continuación:

- No existe un estándar mundial en el formato digital, existen tres estándares incompatibles entre sí, el europeo, el estadounidense y el japonés.
- No existe un estándar mundial para las interfaces ópticas. La interconexión es imposible a nivel óptico.

- La estructura asíncrona de multicanalización es muy rígida.
- Capacidad limitada de administración.

Figura 23. Jerarquías PDH

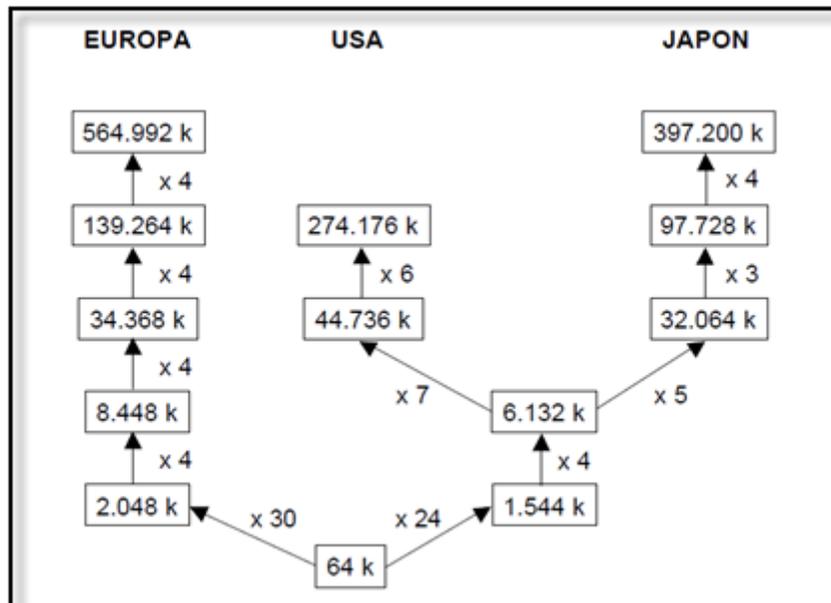


Fuente: GÓMEZ, Guillermo E. Manual laboratorio de comunicación II. p. 6.

### 2.2.3.1. Distintas jerarquías de transmisión

Existen tres jerarquías plesiócronas diferentes: europea, americana y japonesa. La europea se basa en una señal de 2 MBit/s, mientras la americana y la japonesa se basan en una señal de 1,5 Mbit/s. La velocidad básica de transferencia de información, o primer nivel jerárquico, es un flujo de datos de 2.048 Kbps (generalmente conocido en forma abreviada por 2 megas). Por ejemplo: para transmisiones de voz, se digitaliza usando una frecuencia de muestreo de 8 Khz y cada muestra se codifica con 8 bits con lo que se obtiene un régimen binario de 64 Kbps Agrupándolos en 30 canales de voz más otros 2 canales de 64 Kbps, utilizados para señalización y sincronización, formando de esta manera un flujo de PDH E1.

Figura 24. Jerarquía PDH en USA, Europa y Japón



Fuente: GÓMEZ, Guillermo E. Manual laboratorio de comunicación II. p. 14.

En PDH, la velocidad del flujo de datos de 2 Mbps es controlado por un reloj. A esta velocidad se le permite una variación, alrededor de la velocidad exacta de 2,048 Mbps, de  $\pm 50$  ppm (partes por millón). Esto significa que dos flujos diferentes de 2 Mbps pueden estar (y probablemente lo están) funcionando a velocidades ligeramente diferentes uno de otro.

Al fin de poder transportar múltiples flujos de 2 Mbps de un lugar a otro, estos son combinados o multiplexados en grupos de cuatro en un equipo multiplexor. La multiplexación se lleva a cabo tomando un bit del flujo 1, seguido por un bit del flujo 2, luego otro del 3 y finalmente otro del 4.

El multiplexor, además añade bits adicionales a fin de permitir al demultiplexor del extremo distante decodificar que bits pertenecen a cada flujo de 2 Mbps y así reconstruir los flujos originales. Estos bits adicionales son, por un lado los denominados bits de justificación o de relleno, y por otro lado una combinación de uno y ceros que es la denominada palabra de alineamiento de trama que se transmite cada vez que se completa el proceso de transmisión de los 30+2 canales de los 4 flujos de 2 Mbps, que es lo que constituye una trama del orden superior.

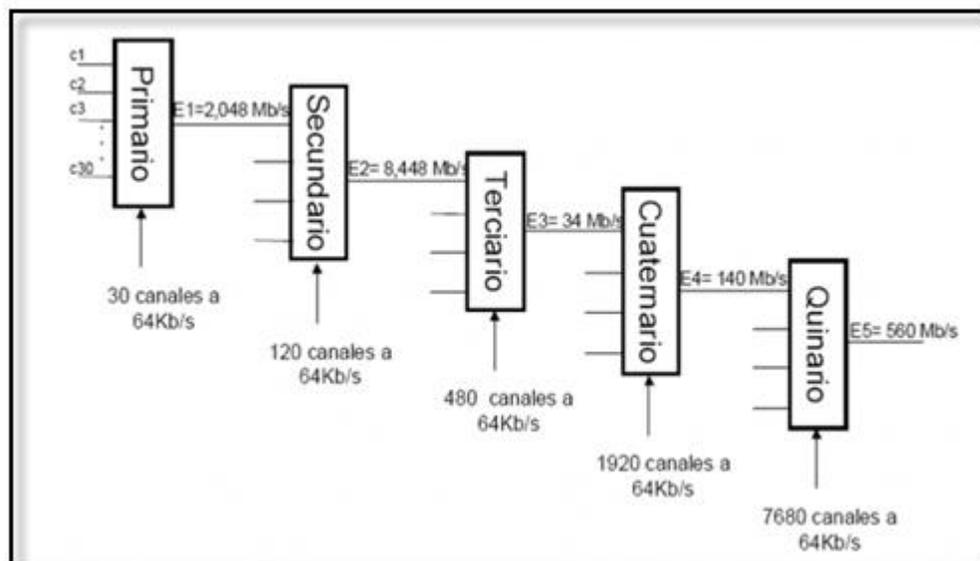
La necesidad de los bits de relleno o justificación es que como cada uno de los flujos de 2 Mbps no está funcionando necesariamente a la misma velocidad que los demás, es necesario hacer algunas compensaciones.

Para ello, el multiplexor asume que los cuatro flujos están trabajando a la misma velocidad permitida, lo que conlleva que, a menos que realmente este sucediendo esto, en algún momento el multiplexor buscará el próximo bit, pero este no llegará, por ser velocidad de flujo inferior a la máxima.

En este caso el multiplexor señalará (mediante los bits de justificación) al demultiplexor que falta un bit. Esto permite al demultiplexor reconstruir correctamente los flujos originales y sus velocidades plesiócronas correctas. La velocidad de flujo de proceso antes descrito es de 8,448 Mbps que corresponden al segundo nivel jerárquico.

Por procedimientos similares se llega a los niveles tercero, constituido por 4 flujos de de 8 Mbps y una velocidad de 34 368 Mbps y cuatro, formado por 4 flujos de 34 Mbps y una velocidad de 139 264 Mbps, como se ilustra en la figura 25.

Figura 25. **Jerarquía PDH europea**



Fuente: MARTÍNEZ, Isabel R. Arquitectura de redes sistemas y servicios. p. 22.

## **2.3. Principios básicos de una red PDH**

Dentro de una red PDH existe varios parámetros los cuales se deben tomar en consideración, los más importantes se describen a continuación.

### **2.3.1. Estructura de la trama**

Para evitar tener que sincronizar también a los multiplexores de orden superior, la multiplexación de tributarios a niveles jerárquicos superiores obedecen a un esquema bastante distinto, es decir, los multiplexores de orden superior funcionan en forma plesiócrona.

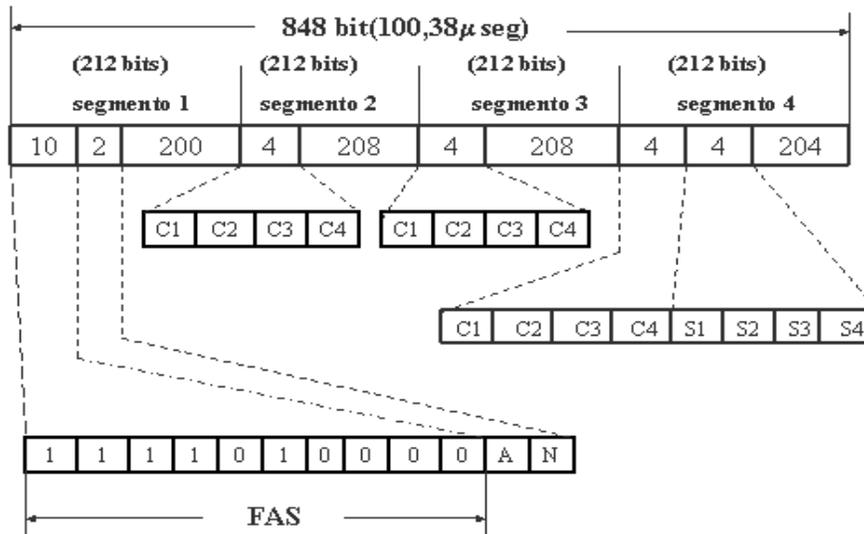
Estos sistemas utilizan técnicas de relleno (justificación) para compensar ligeras desviaciones de velocidad, proporcionando una capacidad de transmisión un poco mayor que la requerida por la señal afluyente.

Las fluctuaciones de la velocidad real de los afluentes se deben a variaciones en el tiempo de propagación, fenómenos transitorios y fluctuaciones de baja frecuencia entre otras causas. Por eso, tales señales son plesiócronas, es decir, casi síncronas.

El exceso de capacidad de transmisión se rellena con bit vacíos que son declarados como tales para poder extraerlos durante el demultiplexando, sin pérdida de información. La decisión de transmitir datos o bits de relleno para ocupar la capacidad suplementaria, depende de la relación entre las frecuencias de reloj del sistema tributario y del multiplexor.

La figura 26 muestra la estructura de la trama a 8 448 kbit/s con relleno positivo, donde se multiplexan 4 tributarios primarios a 2 048 kbit/s.

Figura 26. Estructura de la trama PDH a 8 448



Fuente: RODRÍGUEZ, Senia A. Jerarquías digitales PDH y SDH. p.3.

Donde:

Cn= bits de control de relleno tributario n

Sn= bits de oportunidad de relleno del tributario n

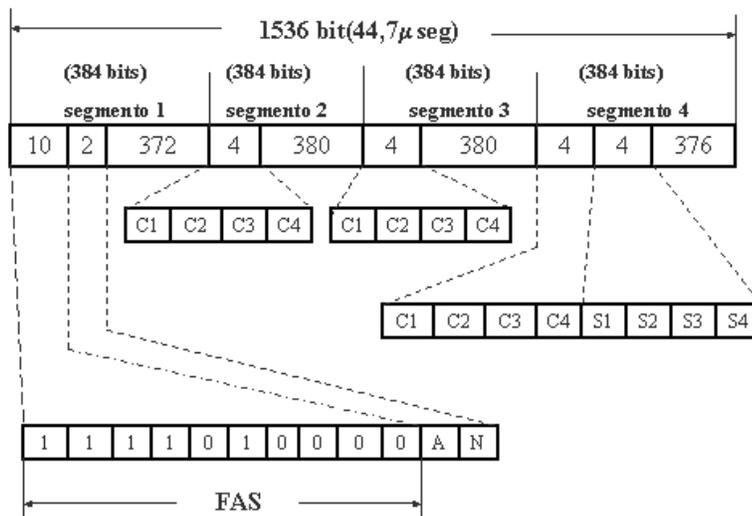
La trama se divide en cuatro segmentos iguales de 212 bit. El primero comienza con la señal de alineación de la trama FAS (bit 1 a 10). El bit 11 (A) puede emplearse para transmisión de alarmas, mientras que el 12 (N) se reserva para uso nacional. Los 200 bits restantes del primer segmento son bits tributarios y se entrelazan cíclicamente. Cada uno de los tres segmentos siguientes de la trama comienza con cuatro bits de control de relleno (C1, C2, C3 y C4). Uno de ellos en cada segmento se asigna a un sistema tributario e indica si se emiten datos o bits de relleno inmediatamente tras los bits de control de relleno del último segmento de trama.

Cuando el bit  $S_n$  contiene información, los bits  $C_n$  correspondientes toman el valor 0 y cuando el bit  $S_n$  es relleno, los bit  $C_m$  toman el valor 1, indicando al demultiplexor que ese bit debe ser saltado al momento de recuperar los bits del tributario.

Los bits de control de relleno  $C$  se protegen contra errores repitiéndose tres veces en la trama (decisión por mayoría), ya que dejar de reconocer un relleno implicaría un slip de un bit en el tributario demultiplexado, con la consiguiente pérdida de sincronismo en el equipo demultiplexor de primer orden.

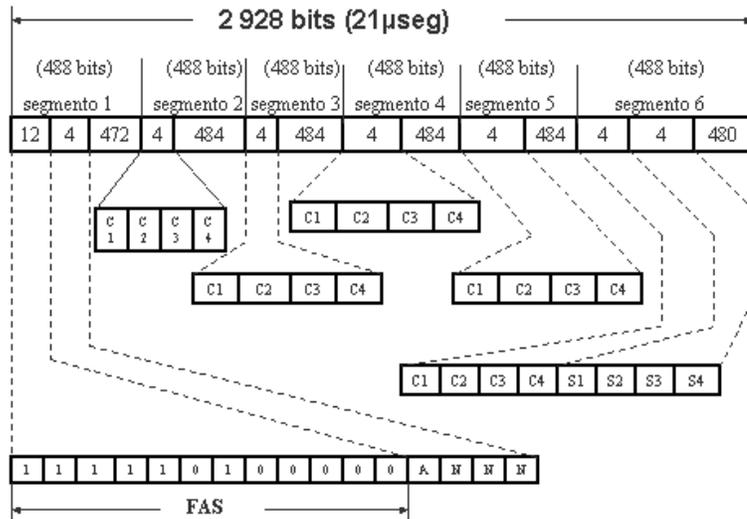
Las figuras 27 y 28 ilustran las estructuras de las tramas de 39 Mbit/s y 140 Mbit/s.

Figura 27. Estructura de trama PDH a 34 Mbit/s



Fuente: RODRÍGUEZ, Senia A. Jerarquías digitales PDH y SDH. p.4.

Figura 28. Estructura de trama PDH a 140 Mbit/s



Fuente: RODRÍGUEZ, Senia A. Jerarquías digitales PDH y SDH. p.4.

En general, las características de la jerarquía digital plesiócrona PDH pueden resumirse de la siguiente manera:

- Existen básicamente dos jerarquías: una, basada en la velocidad de 1 544 kbit/s empleada en EUA y Japón, y la otra, basada en 2 048 kbit/s usada en Europa y el resto del mundo. También están normalizadas las interacciones entre ellas.
- En caso de ser insuficiente la capacidad de línea de los sistemas básicos, es necesario pasara a niveles más altos en la jerarquía. En el estándar europeo de estas velocidades jerárquicas de niveles superiores se obtienen por la multiplexación plesiócrona de grupos de cuatro tributarios provenientes de nivel jerárquico inferior. La técnica de multiplexación se conoce como *pulse stuffing* o pulso de relleno.

- Cada nivel jerárquico tiene una señal de alineación de trama específica, para obtener el sincronismo de trama y la duración de las tramas es diferente en cada nivel jerárquico.
- En el primer nivel, la multiplexación es orientada a octetos, los espacios de carga están intercalados *byte a byte*, mientras que en niveles superiores segundo, tercero y cuarto, las multiplexación es orientada a bit, es decir, los tributarios están intercalados bit a bit.

La tabla II establece una comparación entre los niveles superiores de la jerarquía plesiócrona.

Tabla II. **Principales características de niveles superiores de PDH**

<b>NIVEL JERÁRQUICO</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>	<b>4°</b>
Velocidad binaria de línea (kbit/s)	8 448	34 368	139 264
Tolerancia de la velocidad (ppm)	30	20	15
Longitud de la trama (bit/trama)	848	1 536	2 928
Bits de la FAS, alarmas y reservados por trama	12	12	16
Cantidad de bits C por trama	12	12	20
Cantidad de bits S por trama	4	4	4
Bits de información por trama	820 + 4S	1508+4S	2882+4S
Bits de información por trama por afluente	205 a 206	377 a 378	722 a 723
Duración de la trama (µseg)	100,378..	44,6927	21,0248

Fuente: elaboración propia.

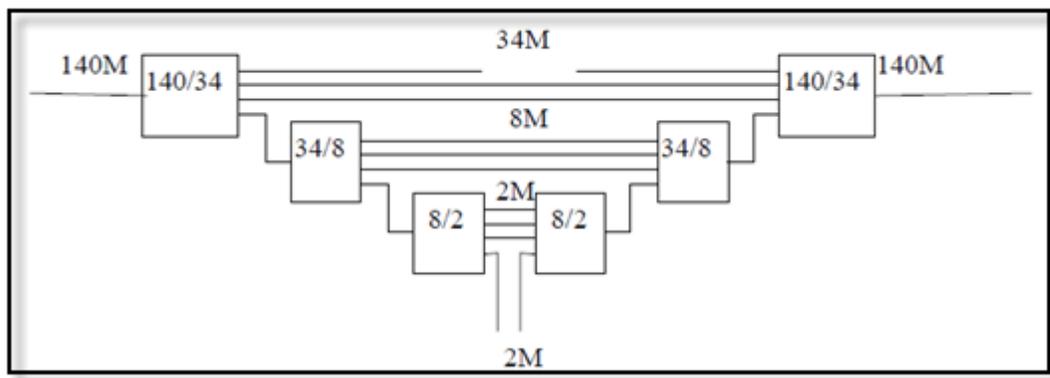
### 2.3.2. Limitaciones de PDH

El proceso de justificación por una parte, y por otra, el hecho de que la temporización vaya ligada a cada nivel jerárquico, hace que en la práctica sea imposible identificar una señal de orden inferior dentro de un flujo de orden superior sin demultiplexar completamente la señal de línea.

Uno de los mayores inconvenientes de la demultiplexación plesiócrona es que una vez formada la señal multiplexada, no es posible extraer un tributario concreto si demultiplexar completamente la señal.

Por ejemplo se tiene un flujo de 140 Mbit/s, y que en un punto intermedio se desea extraer un canal de 2 Mbit/s; es necesario para ello recurrir a las voluminosas y rígidas cadenas de multiplexación, que de forma esquemática se representa en la siguiente figura 29.

Figura 29. Demultiplexación PDH



Fuente: GÓMEZ, Guillermo E. Manual laboratorio de comunicación II. p. 24.

Las diferentes jerarquías plesiócronicas existentes: americana, europea y japonesa, hacen muy difícil el inter funcionamiento. La escasa normalización ha conducido a que los códigos de línea, la modulación o las funciones de supervisión, sean específicas de cada suministrador, de forma de equipos de diferentes fabricantes sean incompatibles entre sí.

Además de no existir mecanismos y estándares para la protección de circuitos en caso de fallo, así como también, para la sincronización. Además la poca capacidad para canales de gestión y canales de servicio.

### **3. SISTEMA DE TRANSMISIÓN SDH Y DWDM**

#### **3.1. Historia**

En 1985 la empresa Bell Core, le hace la propuesta a ANSI, de estandarizar las velocidades mayores a 140 Mb/s que hasta el momento eran propietarias de cada empresa.

En 1986, la Bell Core, y la AT&T, proponen al CCITT, posibles velocidades de transmisión para que las mismas sean estandarizadas, cada una de estas empresas propone diferentes velocidades de transmisión posibles.

Recién en 1988 se produce la primera regulación de la Jerarquía Digital Sincrónica, o más conocida por sus siglas en la lengua inglesa Synchronous Digital Hierarchy (SDH). La CCITT saca entonces, en su serie azul, las recomendaciones G707, G708, y G709 que constituyen la primera regulación de esta forma de transmisión. Desde 1988 al día de hoy, se han realizado 6 modificaciones a las recomendaciones, estando vigente actualmente sola la recomendación G707.

En conclusión, SDH es el producto de muchos años de trabajo, a escala mundial, por parte de los organismos de normalización, operadores de red, e industria de las telecomunicaciones. El objetivo primordial era establecer una base estándar de transmisión óptica de alta velocidad, válida internacionalmente y capaz de satisfacer la demanda actual y previsiones futuras.

## 3.2. Conceptos de SDH

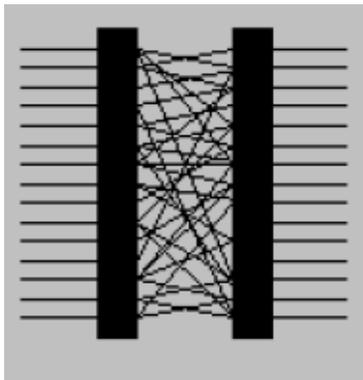
Los principales conceptos que se deben conocer de la tecnología SDH, son desarrollados a continuación.

### 3.2.1. Definición de SDH

SDH es un estándar para redes de telecomunicaciones de alta velocidad, y alta capacidad; más específicamente, es una jerarquía digital sincrónica. Este es un sistema de transporte digital realizado para proveer una infraestructura de red de telecomunicaciones más simple, económica y flexible.

Las viejas redes fueron desarrolladas en tiempo en que las transmisiones punto a punto eran las principales aplicaciones de la red. Hoy en día los operadores de redes requieren una flexibilidad mayor. En la figura 30 se muestra la distribución de trama de un nodo de cross-conexión plesiócrono.

Figura 30. **Estructura de una red SDH punto a punto**



Fuente: [http://conocimientosdwdmtechnology.blogspot.com/2010/07/jerarquia-digital-sincronica-sdh\\_24.html](http://conocimientosdwdmtechnology.blogspot.com/2010/07/jerarquia-digital-sincronica-sdh_24.html). Consulta: 10 de julio de 2011.

A partir de la introducción de la tecnología PCM, hacia 1960, las redes de comunicaciones fueron pasando gradualmente a la tecnología digital en los años siguientes. Para poder soportar la demanda de mayores velocidades binarias surgió la tecnología PDH. Pero como las velocidades de transmisión de esta jerarquía no son las mismas para EEUU y Japón que para Europa, las pasarelas entre redes de ambos tipos es compleja y costosa. Además, si se tiene en cuenta que para poder llegar a un canal de 64Kb/s (canal de voz), habría que desarmar toda la señal PDH, hasta llegar al mismo, es decir habría que poner una cadena de multiplexores y demultiplexores, con el incremento de costo que esto significa.

El objetivo de la tecnología SDH, nacida en los años 80, era subsanar estas desventajas inherentes a los sistemas PDH, como así también normalizar las velocidades superiores a 140 Mb/s que hasta el momento eran propietarias de cada compañía. La tecnología SDH, ofrece a proveedores las siguientes ventajas:

- Altas velocidades de transmisión: los modernos sistemas de SDH logran velocidades de 10 Bit/s. SDH es la tecnología adecuada para los *backbones*, que son realmente las superautopistas de las redes de telecomunicaciones actuales.
- Alta disponibilidad y grandes posibilidades de ampliación: SDH permite a los proveedores de reaccionar rápida y fácilmente frente a la demanda de sus clientes. Empleando un sistema de gestión de redes de telecomunicaciones, el proveedor de la red puede usar elementos de redes estándar y monitorizadas desde un lugar centralizado.

- Función simplificada de inserción/extracción: comparado con los sistemas PDH tradicionales, ahora es más fácil extraer o insertar canales de menor velocidad en las señales compuestas de SDH de alta velocidad. Ya no hace falta demultiplexar y volver a multiplexar la estructura plesiócrona. Esto se debe a que en la jerarquía SDH todos los canales están perfectamente identificados por medio de una especie de etiquetas que hace posible conocer exactamente la posición de los canales individuales.
- Fiabilidad: SDH incluye varios mecanismos automáticos de protección y recuperación ante posibles fallos del sistema y evitar de esta forma que un elemento no provoca el colapso de toda la red.
- Plataforma a prueba de futuro: SDH es la plataforma ideal para varios tipos de servicios como, desde la telefonía tradicional, las redes RDSI o la telefonía móvil hasta las comunicaciones de datos (LAN, WAN, etc.).
- Interconexión: con SDH es mucho más fácil crear pasarelas entre los distintos proveedores de redes y hacia los sistemas SONET. Las interfaces de SDH están normalizadas, lo que simplifica las combinaciones de los elementos de redes diferentes fabricantes.

### **3.2.2. Principios básicos**

La jerarquía SDH se caracteriza por tener una estructura de trama organizada en octetos, es decir, los espacios de la carga de los tributarios están intercalados byte a byte. La duración de la trama es uniforme (125  $\mu$ seg), repitiéndose 8 000 veces por segundo, por lo que cada byte del espacio de carga tiene la capacidad para transportar un canal a 64 Kbit/s (8 KHz x 8 bit).

Además, SDH incluye un proceso de justificación para lograr adaptación de velocidad mediante la utilización de punteros que señalan el principio de las tramas de las señales tributarias dentro del área de carga útil, manejando así eventuales diferencias de velocidad entre la señal tributaria (contenedor virtual) y el espacio de carga (unidad tributaria o unidad administrativa).

Otra característica de SDH es poseer un área de carga muy grande (*overhead*), que permite la designación de varios canales de gran capacidad para funciones de supervisión, operación, mantenimiento y gestión de los elementos de la red.

También es muy importante la relación de la jerarquía síncrona con las actuales redes plesiócronas para de esta forma lograr un desarrollo progresivo de los sistemas de transmisión digital existentes.

En conclusión, en comparación con la jerarquía PDH, la SDH ofrece las siguientes ventajas:

- Norma de alcance mundial: las señales SDH permiten la transmisión de señales a través de las fronteras internacionales sin cambiar de norma. Esto debido a que las señales tributarias se adaptan a las velocidades síncronas mediante un procedimiento de entramado que permite utilizar sistemas y vías de comunicación estandarizados. De esta forma, SDH complementa a la jerarquía plesiócronica existente, brindando la posibilidad de transportar y mezclar señales.

- Técnicas de multiplexación/demultiplexación simplificadas: el proceso de multiplexación es mucho más directo gracias a la utilización de punteros los cuales permiten la localización fácil y directa de las señales tributarias dentro de las señales de línea, de esta manera posibilitando el acceso directo a los afluentes de menor velocidad, sin necesidad de multiplexar/demultiplexar la señal completa de alta velocidad. Para poder realizar esto los multiplexores poseen funciones de inserción y extracción para tributarios plesiócronicos de todos los niveles.
- Interfaces normalizadas: la interfaz óptica de línea esta estandarizada para todos los niveles de SDH, mientras que la interfaz eléctrica solo esta especificada para el primer nivel (STM-1), por lo cual existen equipos los cuales ni siquiera poseen la interfaz eléctrica. La normalización a escala internacional de la interfaz para SDH elimina la proliferación de interfaces digitales, logrando de esta manera una compatibilidad eléctrica y óptica entre los equipos de todos los proveedores.

De esta manera se podrán ofrecer que los componentes del sistema a precios más bajos, gracias a la unificación y la estandarización de los procesos y la integración de funciones que conducen a la reducción de costos debido a:

- Mayor rentabilidad: la transmisión de señales a través de fibras ópticas mono modo en la gama de 1300 a 1550 nm permiten alcanzar distancias de hasta 100 Km sin regenerar la señal.
- Servicios de banda ancha: la capacidad de transmisión que ofrece la trama de la jerarquía SDH, permite la transmisión de señales de banda ancha.

Las redes de banda ancha pueden transportar señales de televisión de alta definición (HDTV), videoconferencias y otras aplicaciones de alta velocidad y pueden conectarse a redes de área local (LAN), redes de área metropolitana (MAN). También SDH está preparada para servir de base al Modo de Transferencia Asíncrono (ATM).

Por otro lado, debido a que la jerarquía SHD debe establecerse a partir de la red plesiócrona existente, hay que tener en cuenta ciertas dificultades que se presentan, sobre todo durante el período de instalación y transición de PDH a SDH:

- Existen ciertas incompatibilidades con las redes actuales. Los *cross-connect* o transconectores de las actuales redes PDH no son directamente compatibles con la SDH.
- También, es necesario disponer de una estrategia adecuada de transición de PDH a SDH. Durante este período de transición se produce un aumento en los costos de la administración de la red causado por la mezcla de equipos sincrónicos y plesiócronicos.
- La planificación de una red flexible SDH es totalmente diferente a la planificación de una red PDH. Por ejemplo, los enlaces de SDH son de alta velocidad, lo cual implica tener consideraciones especiales en cuanto al medio de transmisión para asegurar un determinado nivel de protección.

- Otro aspecto importante es la necesidad de una gestión de red eficiente (TMN: Telecommunication Management Network) para de esta forma sacarle el mayor provecho a esta tecnología. Dado que la flexibilidad de los trayectos de las redes de SDH solo pueden ser aprovechados correctamente con un buen sistema de gestión computarizado.

### **3.2.3. Jerarquía SDH**

El CCITT, en su recomendación G.708, define las velocidades binarias de SDH. En la tabla III se muestran los niveles jerárquicos del estándar SDH así como también su homólogo norteamericano SONET. El primer nivel de jerarquía recomendado por CCITT es denominado STM-1 (Synchronous Transport Module - first order) y posee una velocidad de 155,52Mbit/s.

Las velocidades binarias de los niveles superiores de la jerarquía digital síncrona son múltiplos de la velocidad del primer nivel y dichos niveles superiores se denominan por el correspondiente factor de multiplicación de la velocidad del primer nivel sin incorporar ninguna información adicional, (a diferencia de la jerarquía plesiócrona, donde la velocidad binaria de cada nivel es igual a la suma de la velocidad de los tributarios más la velocidad adicional requerida para la información de trama y relleno), a estas tramas se denominan STM-N.

La capacidad se multiplica por 4 en cada etapa (STM-4, STM-16,...); sin embargo, la duración de la trama en cualquier nivel siempre es de 125  $\mu$ s, por lo que el número de bits depende del nivel (N)

Tabla III. **Niveles jerárquicos de SDH y Sonet**

<b>STM-N (trama SDH)</b>	<b>Velocidad (kbit/s)</b>	<b>STS-N (trama SONET)</b>
Transmisión radio y satélite	51 840	STS-1
STM-1	155 520	STS-3
-----	466 560	STS-9
STM-4	622 080	STS-12
-----	933 120	STS-18
-----	1 244 160	STS-24
-----	1 866 240	STS-36
STM-16	2 488 320	STS-48
STM-64	9 953 280	STS-192

Fuente: elaboración propia.

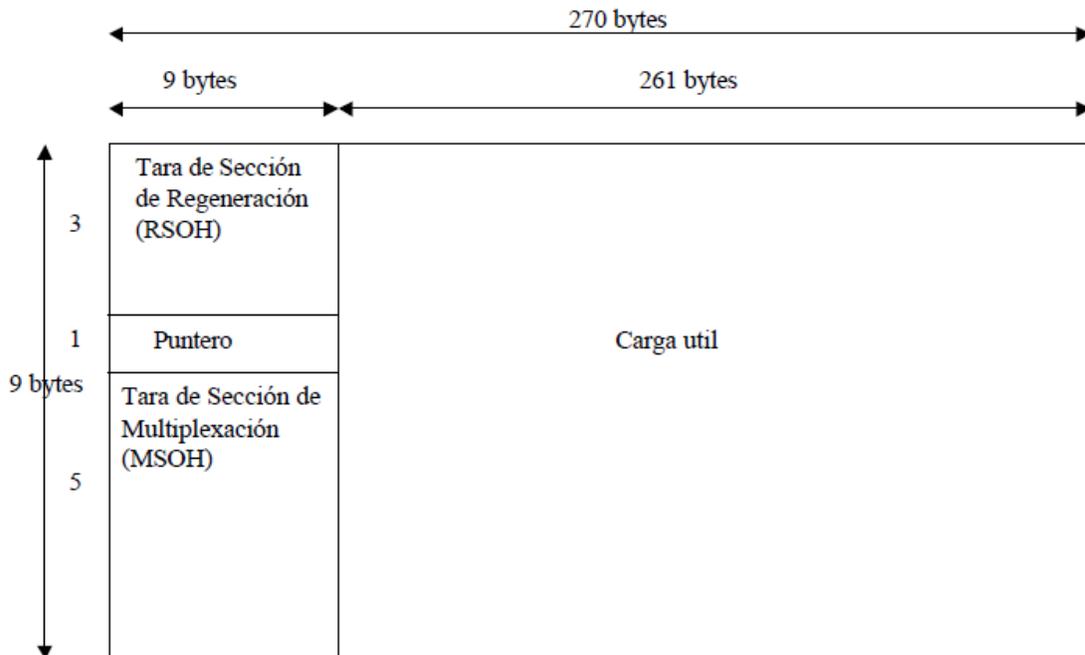
#### **3.2.4. Principios básicos de una red SDH**

Al igual que en una red de PDH, se debe poseer el conocimiento de ciertos principios básicos, los cuales se debe tomar en cuenta al momento de construir una red SDH, los más importantes se desarrollan a continuación.

### 3.2.4.1. Estructura de la trama SDH

La trama de SDH en su conjunto se denomina módulo de transporte síncrono de orden N o, por sus siglas en inglés, STM-N (Synchronous Transport Module of N order), donde N puede tomar los valores 1, 4, 16...., según el nivel jerárquico. La estructura de la trama STM-N se muestra en la figura 31.

Figura 31. Estructura de trama STM-1



Fuente: GÓMEZ, Guillermo E. Manual laboratorio de comunicación II. p. 30.

La figura rectangular es solamente una forma de representar la trama STM-N de manera compacta y ordenada. El dibujo en matriz puede causar la idea errónea de que las líneas son transmitidas en paralelo.

En realidad los bytes se transmiten secuencialmente en una serie de uno tras otro, de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, desde el primer byte de la primera fila hasta el último byte de la última fila.

Por ejemplo: en el caso de la trama STM-1 se transmiten 9 bytes de la tara de sección, luego se transmiten otros 261 bytes de la carga útil y así sucesivamente, y en cada octeto el bit más significativo (bit 1) está a la izquierda, y es el que se transmite primero.

Esencialmente, la trama primaria STM-1 consta de 2 430 octetos (270 columnas X 9 filas), y tiene una duración de 125  $\mu$ s y se divide en tres sectores principales:

- Tara de sección

En las filas correspondientes del 1 al 3 y de 5 a 9 están designadas a la tara de sección o por sus siglas en inglés SOH (Section Over Head). Esta tara incluye octetos, los cuales poseen información de sincronismo de trama, gestión, identificación entre otros datos.

Las filas correspondientes del 1 al 3 de la SOH (parte superior) se denominan tara de sección de regeneración o RSOH (Regenerator Section Over Head). La característica de esta sección es que su contenido puede ser examinado y modificado por las estaciones terminales de una sección de multiplexación y por los regeneradores de línea.

Las filas correspondientes del 5 al 9 de las SOH (parte inferior) se denominan tara de sección de multiplexacion o MSOH (Mutiplexor Section OverHead). En esta sección la información pasa de forma transparente a través de los regeneradores, y solo puede ser accedida en los nodos terminales en la sección multiplexación. En la figura 32 se muestra la estructura y el contenido del SOH, para una trama de STM-1.

Figura 32. Estructura y contenido del SOH

A1	A1	A1	A2	A2	A2	C1	N <sub>x</sub>	N <sub>x</sub>	↑ RSOH ↓
B1			E1			F1	N	N	
D1			D2			D3			
Puntero de AU									
B2	B2		K1			K2			↑ MSOH ↓
D4			D5			D6			
D7			D8			D9			
D10			D11			D12			
Z1	Z1	Z1	Z2	Z2	Z2	E2	N	N	

Fuente: RODRÍGUEZ, Senia. Monografía Jerarquías Digitales PDH y SDH. p. 11.

Como se puede notar la existencia de tanto bytes “en blanco” se debe a la compatibilidad con el estándar Sonet. Los octetos de la SOH tienen el siguiente significado:

- A1 (11110110) y A2 (00101000): octetos utilizados para la alineación de trama. Para esto cada elemento de red localiza en la trama STM-1 a través de una secuencia repetitiva en la trama, que es la señal de alineación de la trama, la cual cuyo contenido es fijo. Ésta se repite tres veces para tener compatibilidad con Sonet.

- C1: identificador de STM-1 en STM-N, este byte designa individualmente cada una de las N tramas básicas STM-1 multiplexadas en una línea STM-N. Como cada trama STM-N se obtiene por multiplexación síncrona de N tramas STM-1, por lo cual en cada trama STM-N hay N bytes C1.
- B1: octeto de paridad utilizado para la supervisión de errores en la sección del regenerador. Este byte contiene el resultado del cálculo de paridad vertical (longitudinal) efectuado sobre la trama de STM-N anterior. Esto se puede realizar dado que todos los bytes de la trama STM-N anterior pasan por un registro que al finalizar la misma, crea una palabra de 8 bits, de tal forma que el número total de bits 1 sea par. Este cálculo se realiza después de la aleatorización de la trama anterior, y se transmite antes de la aleatorización de la trama actual.
- E1, E2: canales de servicio. Estos octetos proporcionan canales de servicios para comunicación de voz y datos. E1 pertenece a RSOH y puede acceder desde los regeneradores. E2 pertenece a MSOH y se puede tener acceso al mismo en las terminales de multiplexación.
- D1...D12: canales de comunicación de datos (CCD) para fines de gestión de la red. Los canales D1, D2 y D3 en la RSOH conforman un canal único de 192 kbit/s definido como CCD de sección de regenerador accesado por todos los elementos de la red. Los canales de servicio D4 al D12 ubicados en la MSOH conforman un único canal definido como CCD de sección de multiplexación accesado únicamente, por los multiplexores.

- F1: canal de usuario: utilizado por usuarios como los operadores de red.
- B2: octetos de paridad: estos octetos contienen un código de paridad con entrelazado de bits Nx24 (BIP Nx24), muy similar al octeto B1 de paridad vertical par, y se utiliza para la supervisión de errores en la sección de multiplexor. Este es calculado para todos los bits de la trama STM-N anterior, excepto las tres primeras filas que pertenecen al RSOH dado que el contenido del mismo puede ser alterado por regeneradores intermedios, y B2 es analizado únicamente, por los extremos multiplexores.
- K1, K2: canales de comunicación de protección automática APS (Automatic Protection Switching). Estos octetos son asignados para señalización y mando de los sistemas de protección. Específicamente el octeto K2 transporta dos tipos de señales de mantenimiento de la señal de multiplexación: la señal de indicación de alarmas AIS (Alarm Indication Signal), y la señal de fallo de recepción en el extremo distante FREF (*Far End Receive Failure*).
- Z1, Z2: canales de reserva: estos octetos pueden tener distintas opciones según sean determinadas por el fabricante.
- X: octetos no aleatorizados, su contenido debe tratarse con precaución.
- N: octetos reservados para uso nacional.

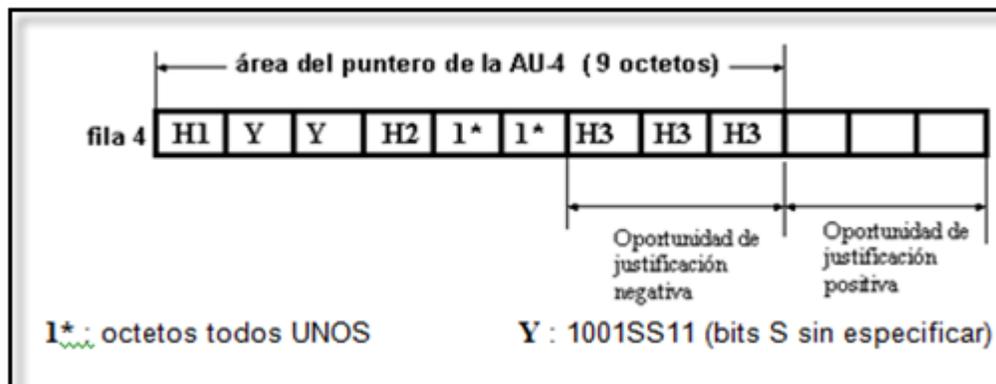
El resto de los octetos sin designación están reservados para futuras normalizaciones internacionales.

- Puntero

La cuarta línea en una trama STM-1 contiene el puntero de la unidad administrativa de cuarto orden (AU-4), éste permite la alineación flexible y dinámica del contenedor virtual (VC-4) dentro del área de la unidad administrativa (AU), esto con la finalidad de que el contenedor virtual (VC) pueda flotar dentro de la unidad administrativa (AU) absorbiendo la diferencia de fase entre ambos.

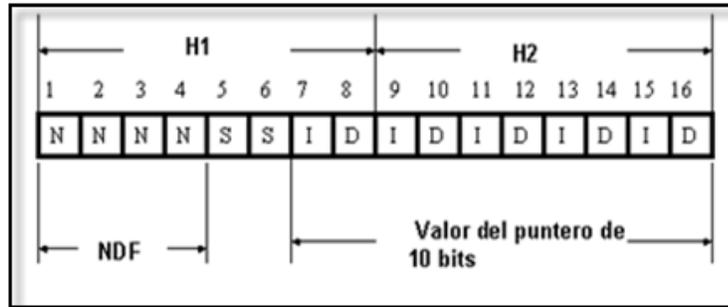
Un puntero AU-4 está compuesto por octetos H1, H2, y H3 como se puede observar en la figura 33, y la codificación del puntero se ilustra en la figura 34.

Figura 33. Puntero AU-4



Fuente: RODRÍGUEZ, Senia. Monografía jerarquías digitales PDH y SDH. p. 16.

Figura 34. **Codificación del puntero AU-4**



Fuente: RODRÍGUEZ, Senia. Monografía jerarquías digitales PDH y SDH. p. 16.

El valor de puntero es contenido en los octetos H1 y H2. Los últimos 10 bits (bit 7 al 16) forman un número binario que constituye el valor del puntero, el cual indica la posición del inicio del VC-4 dentro del área de carga AU-4, siendo esta posición la diferencia en incrementos de tres octetos entre las posiciones del último octeto del puntero y el primer octeto del VC-4.

Los tres octetos H3 constituyen un área de carga extra que se utilizan como oportunidad de justificación negativa, la oportunidad de justificación positivo corresponde a la posición 0, es decir, a los tres bytes siguientes a los bytes H3.

- Área de carga útil

Esta sección está compuesta por un arreglo de 9 por 261 bytes en los cuales se envía la información que requieren los tributarios en forma de contenedores virtuales requeridos por el usuario final, en otras palabras esta es el área donde se ingresa los datos que se desena ser enviados por los usuarios a los distintos destinos.

Con cada uno de los contenedores virtuales van asociados unos bytes llamados Tara de Trayecto POH (*Path OverHead*), los cuales nos facilitan el manejo y control de flujo de la información extremo a extremo.

- Tara de trayecto

En la trama STM-1, el puntero de unidad administrativa indica el comienzo del contenedor virtual, en este caso VC-4. La primera columna del contenedor virtual es la que se denomina como la tara de trayecto, los bytes restantes son los que constituyen el contenedor C (*container*), que es la unidad básica en la que se empaquetan las señales tributarias.

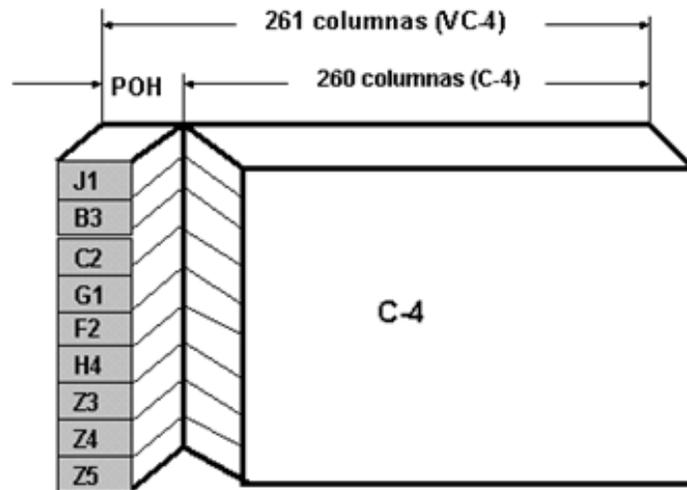
Dicho de otra forma más simple, las señales tributarias se acomodan para formar un contenedor (C) al cual se le añade una columna de 9 octetos, ésta es la tara de trayecto (POH) y de esta manera se conforma un contenedor virtual (VC).

La tara de trayecto permite la integridad de la comunicación entre los puntos donde se ensamblan y desensamblan los conectores virtuales. A lo largo de todo el trayecto POH están unidas a la información de usuario. Existen dos tipos de tara de trayecto:

- Tara de trayecto de orden superior (en los VC-3 y VC-4)
- Tara de trayecto de orden inferior (en los VC-1 y VC-2)

La estructura de la tara de trayecto POH de orden superior (en los VC-3 y VC-4) se muestra en la figura 35.

Figura 35. Estructura de la tara de trayecto de orden superior



Fuente: RODRÍGUEZ, Senia. Monografía jerarquías digitales PDH y SDH. p. 13.

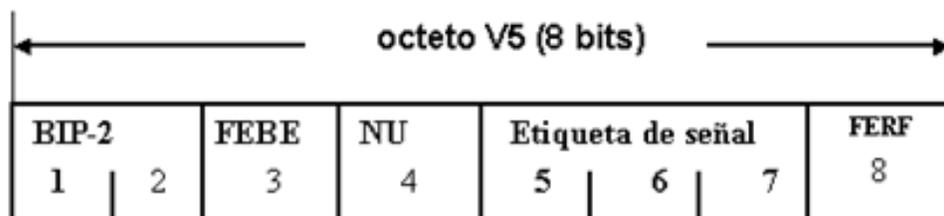
Los nueve bytes de la tara de trayecto cumplen varias funciones:

- J1: traza de trayecto de VC-3 y VC-4
- B3: octeto de paridad (PEB-8)
- C2: etiqueta de señal o identificador de carga del contenedor virtual (VC-4)
- G1: estado del trayecto
- F2: canal de usuario del trayecto
- H4: indicador de posición de multitrama
- Z3: canal de usuario de trayecto
- Z4: octeto de reserva sin definir
- Z5: octeto de operador de red

La POH de los contenedores virtuales de orden inferior (VC-1 y VC-2) está constituida por un solo byte: V5, éste octeto es el primero de la multitrama y su posición se indica en el puntero correspondiente. Éste octeto comprende funciones de corrección de errores, identificación de carga y estado de trayecto para los VC-1 y VC-2, de forma análoga a las funciones de la tara de trayecto de la orden superior.

La asignación de bits del octeto V5 (POH de orden inferior) se ilustra en la figura 36.

Figura 36. **Estructura de la tara de trayecto de orden inferior**



Fuente: RODRÍGUEZ, Senia. Monografía jerarquías digitales PDH y SDH. p. 15.

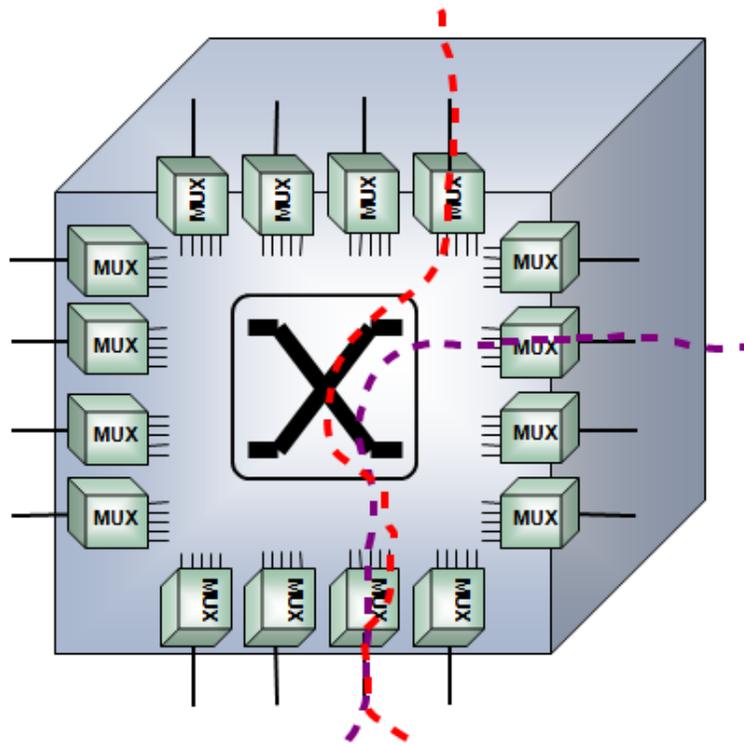
Cada Bit tiene las siguientes funciones:

- Los bits 1 y 2 se utilizan para el control de errores.
- El bit 3 constituye la indicación de error en el extremo distante (FEBE), el bit 4 no se utiliza.
- Los bits 5 a 7 transportan la etiqueta de señal de VC-1 / VC-2.
- El bit 8 es una indicación de fallo de recepción en el extremo distante (FERF) de trayecto de VC-1 / VC-2.

### 3.2.4.2. Cross-conexión

Estos elementos de red, tienen la funcionalidad de proporcionar mayor flexibilidad a la red. Estos equipos permiten crear conexiones virtuales entre cualquier tipo de tráfico, a nivel de contenedores y agregados STM. Básicamente están constituidos por una o varias matrices de conmutación estática con una granularidad definida.

Figura 37. Cross-conexión digital



Fuente: SDH Basics, Manual Tellabs. p. 8.

Las cros-conexiones en general, realizan las siguientes funciones:

- Se demultiplexan los agregados a sus tributarios.
- La matriz de cross-conexión conecta las señales tributarias de un agregado a otro agregado.
- Se multiplexan los tributarios en sus agregados.
- No es terminador de tráfico.

### **3.3. Conceptos de DWDM**

La tecnología DWDM actualmente es una forma muy eficiente para optimizar la utilización de la fibra óptica, a continuación se describe sus principales características.

#### **3.3.1. Breve historia**

A principios de los años 90 se inició, lo que se conoce como transmisión WDM bidireccional de banda ancha, realizando una de las comunicaciones en la región de los 1 550 nm (tercera ventana) y el otro sentido de transmisión a 1 310 nm (segunda ventana).

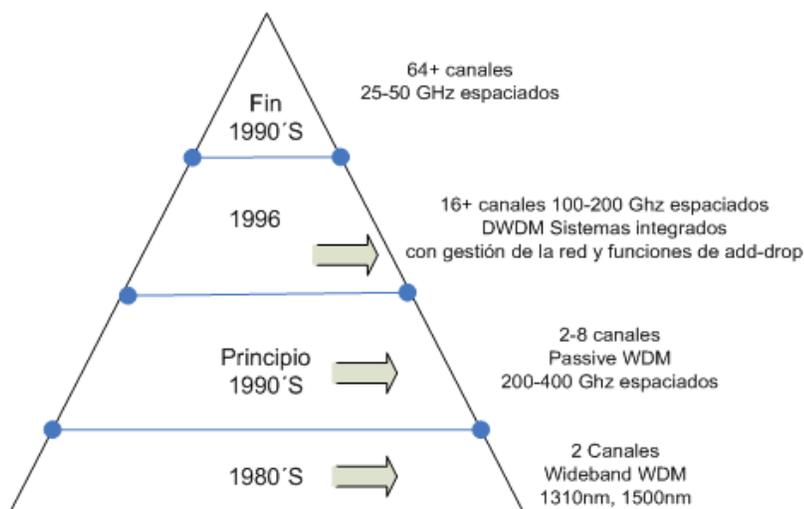
Posteriormente, a mediados de los 90 se desarrolló el WDM de banda estrecha, caracterizado por una separación reducida entre canales y por el establecimiento de comunicaciones bidireccionales 2x2 y 4x4 a 2,5Gbit/s y 1 550 nm sobre enlaces punto a punto de gran longitud.

Finalmente, la tecnología DWDM apareció a finales de los 90 donde se introdujeron múltiples grupos de servicios y múltiples longitudes de onda por grupo sobre una misma fibra.

Así, algunos ejemplos serían la transmisión de 16, 32/40 o 64/80/96 longitudes de onda con multiplexación por división en el tiempo a 2,5 y 10 Gbit/s. Incluso ya se está pensando en UDWDM (Ultra DWDM) con la transmisión de 128 y 256 longitudes de onda transportando cada una de ellas velocidades de 2,5 Gbit/s, 10 Gbit/s, 40 Gbit/s y en la actualidad está en proceso de salir la interfaz de 100 Gbits/s.

El primer sistema DWDM fue diseñado para aplicaciones de intercambio de una red *long-haul*. Por *long-haul* se refiere a distancias arriba de los 100 km. En la figura 38 se muestra en forma gráfica la evolución de esta tecnología.

Figura 38. **Evolución de la tecnología DWDM**



Fuente: Introduction to DWDM for metropolitan networks CISCO. p. 6.

### 3.3.2. Principios básicos

Por sus siglas en inglés Dense wavelength Division Multiplexing, que significa Multiplexación por división en longitudes de onda densas. Éstas son una evolución de las redes WDM (*wavelength división multiplexing*), que fue una tecnología desarrollada a partir de la física clásica óptica. Surge debido a la demanda de capacidad de transporte en el entorno metropolitano, el cual es cada vez mayor, debido a la introducción de servicios y aplicaciones con gran consumo de ancho de banda (Internet de banda ancha, vídeo bajo demanda, redes de almacenamiento, etc.), a partir de tecnologías en la red de acceso.

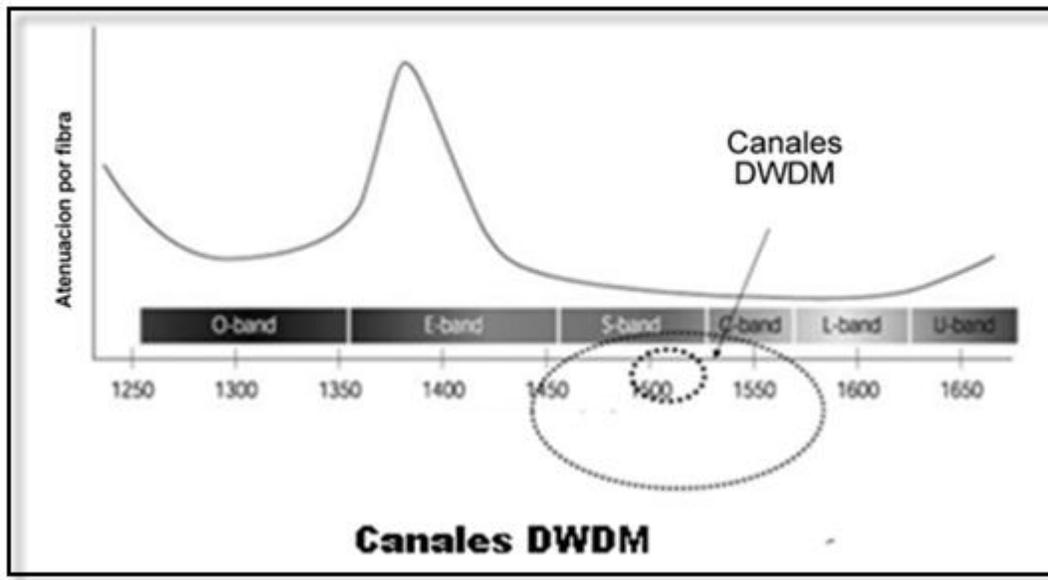
Esta necesidad de ancho de banda en la red metropolitana suscitó hace unos años un gran interés en los sistemas DWDM, pues además la transparencia inherente a esta tecnología se adapta muy bien a este entorno, caracterizado por la necesidad de integrar una gran diversidad de clientes, servicios y protocolos.

DWDM trabaja en ventanas. Estas ventanas es como se denomina al espectro lumínico y corresponden a las siguientes longitudes de onda.

- Primera ventana (800 a 900 nm)
- Segunda ventana (1 250 a 1 350 nm)
- Tercera ventana (1 500 a 1 600 nm)

Las redes DWDM trabajan entre la segunda y la tercera ventana. En la figura 39 se describe el espectro lumínico, en el cual se denotan las ventanas en las cuales funcionan los canales de DWDM.

Figura 39. Ventana de operación de las redes DWDM



Fuente: Manual DWDM Fujitsu. p.4.

### 3.3.3. Redes ópticas DWDM

Durante los últimos años, DWDM ha sido una de las soluciones tecnológicas que más atención ha suscitado dentro del campo de las telecomunicaciones ópticas. Esto debido a la madurez de esta tecnología y la explosión de la demanda de ancho de banda en las redes de acceso y metropolitanas han propiciado su adaptación desde entornos de largas distancias a entornos metropolitanos, presentándose como una de las alternativas más atractivas en cuanto a prestaciones costo.

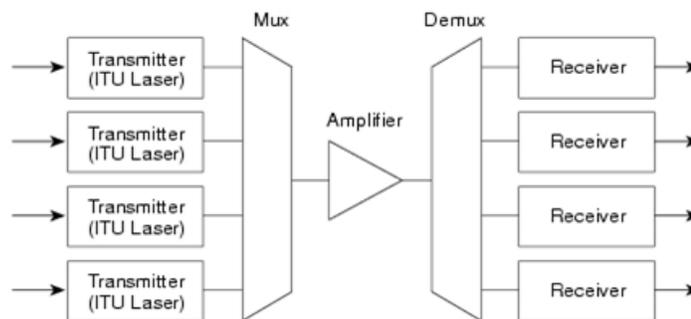
Esta situación ha propiciado la instalación de redes de gran capacidad y bajo coste basadas en la fibra óptica como medio de transmisión.

La única tecnología hoy capaz de explotar todo el ancho de banda ofrecido por la fibra óptica es DWDM, que permite además una evolución flexible y económica de las redes actuales que dé respuesta a la demanda de mayor ancho de banda, por parte de los nuevos servicios multimedia.

Pero como DWDM requiere componentes ópticos muy complejos y caros, desde su aparición se ha utilizado, principalmente, en enlaces punto a punto de larga distancia. Los principales componente de una red DWDM son:

- Transmisor
- Multiplexores/Demultiplexores ópticos
- Amplificador óptico
- Compensador de dispersión

Figura 40. **Sistema DWDM**



Fuente: Cisco ONS 15454 Documentación del usuario, Versión 2.2.x. p.20.

### **3.3.3.1. Transmisor**

Los transmisores ópticos son los encargados en generar las señales, éstos son de alta resolución, su fuente es un laser en estado sólido en el caso del transmisor, éste provee luz estable con un específico ancho de banda estrecho. Estos laser permiten la separación entre canales de cerrar, lo que aumenta el número de longitudes de onda que pueden ser utilizados en la banda, mientras que se minimizan los defectos de las deficiencias de señales tales como la dispersión. El transmisor óptico minimiza la pérdida de potencia que permiten a largas distancias de transmisión y un alto nivel de integridad de la señal.

Existen dos tipos de transmisores que son: sintonizados y de una longitud de onda específica. Los transmisores utilizan luz laser como señal fuente, las longitudes de onda utilizadas son mayores que la luz visible. Estos transmisores deben de ser exactamente controlados, para generar una correcta longitud de onda.

### **3.3.3.2. Multiplexores/Demultiplexores ópticos**

La función de los multiplexores ópticos es combinar las señales de transmisión de diferentes longitudes de onda sobre una sola fibra óptica. La función de los demultiplexores ópticos es separar las señales combinadas en longitudes de onda de sus componentes en el extremo receptor.

Los multiplexores DWDM suelen ser dispositivos pasivos, lo que significa que no requieren alimentación eléctrica. Estos multiplexores pasivos se comportan como prismas de alta precisión para separar los colores individuales de la señal DWDM.

### **3.3.3.3. Amplificadores ópticos**

Los amplificadores ópticos realizan la función de impulsar las señales ópticas para minimizar los efectos de pérdida de potencia y atenuación que resultan de enviar impulsos de luz a través de fibra óptica. La tecnología de amplificación óptica es la clave para que la alta velocidad, el alto volumen de transmisión de DWDM tenga lugar. Un amplificador óptico duplica los fotones entrantes por medio de un proceso conocido como emisión estimulada. Un amplificador ideal incrementaría, solamente la fuerza de la señal sin ningún efecto secundario desventajoso y funcionaria como un tipo de desajuste de pérdida por distancia y pérdida por componente.

La tecnología de amplificación óptica fue la clave para el éxito comercial de los sistemas DWDM de larga distancia. Sin embargo, debido a las distancias más cortas que se encuentran en las redes metropolitanas y regionales, los amplificadores ópticos no siempre se implementa en estas redes. Antes de la llegada de los amplificadores ópticos, cada señal tenía que ser regenerada electrónicamente. El tipo más común de amplificador óptico es el amplificador de fibra dopada con erbio (EDFA). EDFA convencionales operar en el rango de 1 530 a 1 560 nm.

### **3.3.3.4. Compensador de dispersión**

La dispersión cromática describe la tendencia para diferentes longitudes de onda que viajan a diferentes velocidades en una fibra. En longitudes de onda donde la dispersión cromática es alta, los pulsos ópticos tienden a expandirse en el tiempo y provocar interferencia. La dispersión en la fibra se produce, ya que el índice de refracción en una fibra óptica es depende de la longitud de onda.

Debido a esto, cuando se transmiten pulsos en una fibra, las componentes con longitud de onda diferentes del pulso viajarán a velocidades diferentes a lo largo de la fibra. Debido a esto, resultará en un pulso que se ensanchará lo que producirá una pérdida de datos.

El compensador de dispersión es un dispositivo encargado en minimizar los efectos de la dispersión cromática. La fibra óptica convencional tiene un coeficiente de dispersión positivo; esto quiere decir que, a mayores longitudes de ondas se tiene un mayor tiempo de tránsito a través de la fibra comparado con las longitudes de ondas cortas. Este diferencial de retardo hace que el pulso se deforme. La dispersión cromática viene dada de la siguiente manera:

$$\text{Dispersión cromática} = D \text{ (ps/nm-km)} \times L \text{ (km)} \times A \text{ (nm)}$$

D= dispersión, L= distancia, A= ancho espectral

Esto quiere decir que, la dispersión cromática es una característica de la fibra utilizada. Existen varias formas de compensar la dispersión, las más comúnmente utilizadas son:

- Fibras compensadoras de dispersión (DCF): se caracterizan por poseer un parámetro de dispersión cromática elevado y de signo opuesto al de las fibras convencionales operando en tercera ventana.
- Compensación con FBG (Fiber Bragg Grating): es un tipo de reflector construido en un pequeño segmento de la fibra óptica que refleja una longitud de onda en particular y la transmite a todas las demás.

#### **4. AMPLIACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE DE STM-1 A STM-4 EN LAS CELDAS 3G, CON CARACTERIZACION DE FIBRA Y MIGRACIONES DE SERVICIOS EN LA RED DE TRANSPORTE**

El alcance de la elaboración de este proyecto consiste, a grandes rasgos, en el aumento de capacidad de transporte en tres anillos de SDH, dentro de los sitios los cuales conforman estos anillos, esto mediante la instalación mecánica de nuevos equipos, los cuales poseen la capacidad de manejo de tecnología STM-4, y posterior a la instalación de éstos, realizar la migraciones de los servicios que actualmente se transportan en los equipos instalados de menor capacidad de transporte.

Dentro de estos mismos alcances, se tiene estipulado realizar la implementación de nuevas longitudes de onda dentro del anillo DWDM, para poder recolectar el nuevo tráfico generado con estas ampliaciones.

La realización de estas implementaciones se divide en cinco fases, dentro de las cuales se desarrollaron todas las actividades, estas son:

- Inventario físico y lógico para equipos involucrados
- Realización de estudio de sitios, caracterización de fibra e ingenierías determinando los cambios lógicos y físicos
- Instalación Mecánica
- Migraciones de Servicios
- Pruebas finales y ATP's

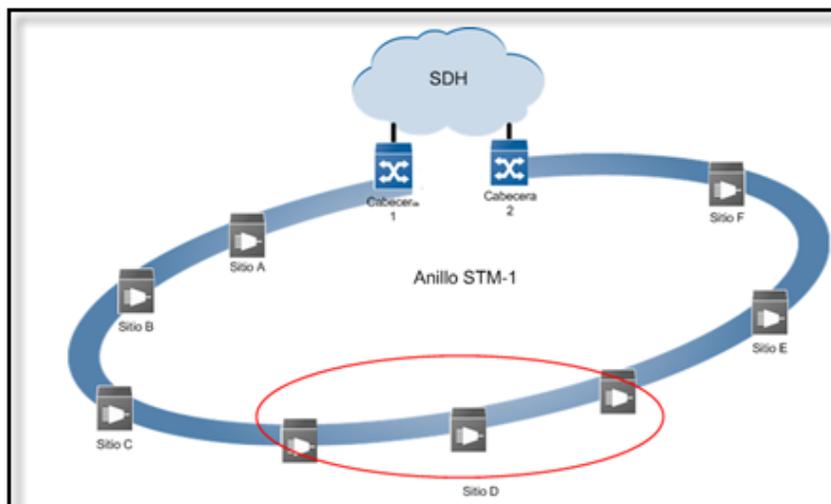
#### 4.1. Topología de la red actualmente existente en sitios

La topología de red, en la cual se encuentran actualmente los sitios interconectados es de tipo anillo, (para este caso se trabajará con tres anillos SDH y un anillo de transporte DWDM, específicamente), los cuales se identificarán dentro del desarrollo del trabajo de graduación de la siguiente manera:

- Anillo SDH1
- Anillo SDH2
- Anillo SDH3
- Anillo DWDM

La descripción de cada anillo se detalla a continuación en la figura 41.

Figura 41. Anillo SDH1



Fuente: elaboración propia.

Dentro de este primer anillo está conformado por 8 sitios, los cuales se identificaran de la siguiente manera, cabecera 1 y 2 estos son equipos principales del anillo y son los encargados de la comunicación del mismo hacia la nube de SDH.

Los demás sitios se les asignan la nomenclatura de sitio A hasta sitio F, existiendo un equipo en cada sitio, con la excepción del sitio D en el cual se tienen tres equipos. La utilización en la capacidad de transporte de cada equipo instalado en el sitio se especifica en la tabla IV.

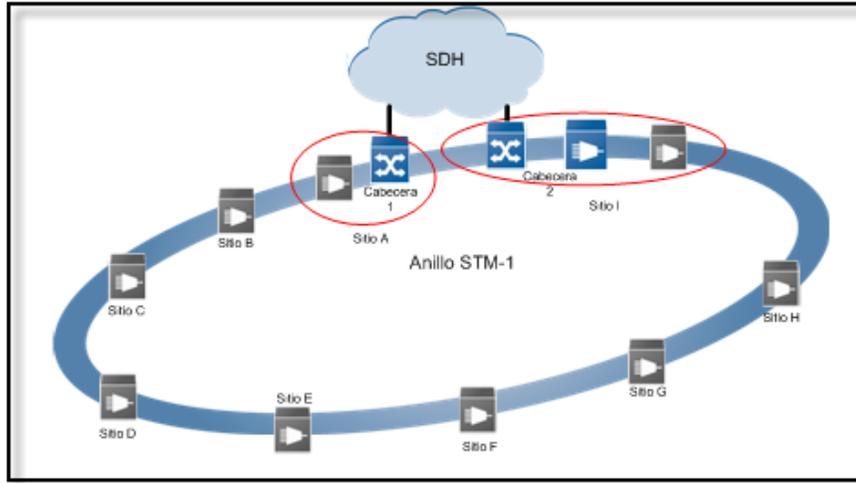
**Tabla IV. Capacidad de transporte por sitio del anillo SDH1**

<b>Nombre</b>	<b>Circuitos bajada</b>	<b>Capacidad total</b>	<b>Capacidad expansión</b>
Sitio A	5	16	N/A
Sitio B	8	16	N/A
Sitio C	7	16	N/A
Sitio D	37	48	N/A
Sitio E	11	16	N/A
Sitio F	12	16	N/A

Fuente: elaboración propia.

El anillo denominado SDH2 consta de 9 sitios, los cuales quedan identificados con la nomenclatura de sitio A hasta sitio I, siendo de estos el sitio A donde se encuentra la cabecera 1, como también un equipo tributario, y el sitio I la cabecera B, el cual tiene una derivación hacia una cabecera secundaria, así mismo se tiene un equipo tributario; en el resto de sitios existe un equipo tributario únicamente, las capacidades de los sitios se muestra en la tabla V.

Figura 42. **Anillo SDH2**



Fuente: elaboración propia.

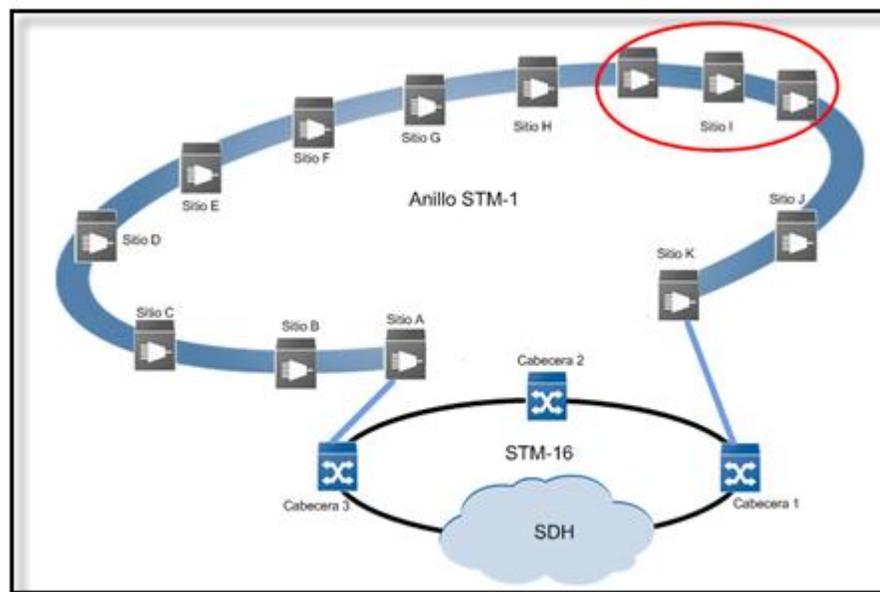
Tabla V. **Capacidad de transporte por sitio del anillo SDH2**

Nombre	Circuitos bajada	Capacidad total	Capacidad expansión
Sitio A	6	16	N/A
Sitio B	9	16	N/A
Sitio C	12	16	N/A
Sitio D	13	16	N/A
Sitio E	11	16	N/A
Sitio F	8	16	N/A
Sitio G	10	16	N/A
Sitio H	12	16	N/A
Sitio I	12	16	N/A

Fuente: elaboración propia

Finalmente, en el anillo denominado SDH3, está conformado por 14 sitios, dentro de los cuales tres de éstos son designados como cabecera 1 al 3, el sitio cabecera 1 y 3 son los que actualmente comunican al anillo con la nube de SDH; el sitio cabecera 2, por el momento solo se tiene de paso de circuitos. En el resto de los sitios se designa como sitio A al sitio K, dentro de estos sitios se encuentra un equipo de transmisión, con la excepción del sitio I en el cual se tienen tres equipos.

Figura 43. **Anillo SDH3**



Fuente: elaboración propia.

Dentro de este anillo, los equipos que se encuentran dentro de los sitios asignados como A, B, C y D son equipos que no bajan circuitos. La capacidad total de los equipos en cada sitio se detalla en la tabla VI.

Tabla VI. **Capacidad de transporte por sitio del anillo SDH3**

<b>Nombre</b>	<b>Circuitos bajada</b>	<b>Capacidad total</b>	<b>Capacidad expansión</b>
Sitio A	0	16	N/A
Sitio B	0	16	N/A
Sitio C	0	16	N/A
Sitio D	0	16	N/A
Sitio E	15	16	N/A
Sitio F	9	16	N/A
Sitio G	9	16	N/A
Sitio H	12	16	N/A
Sitio I	43	48	N/A
Sitio J	8	16	N/A
Sitio K	10	16	N/A

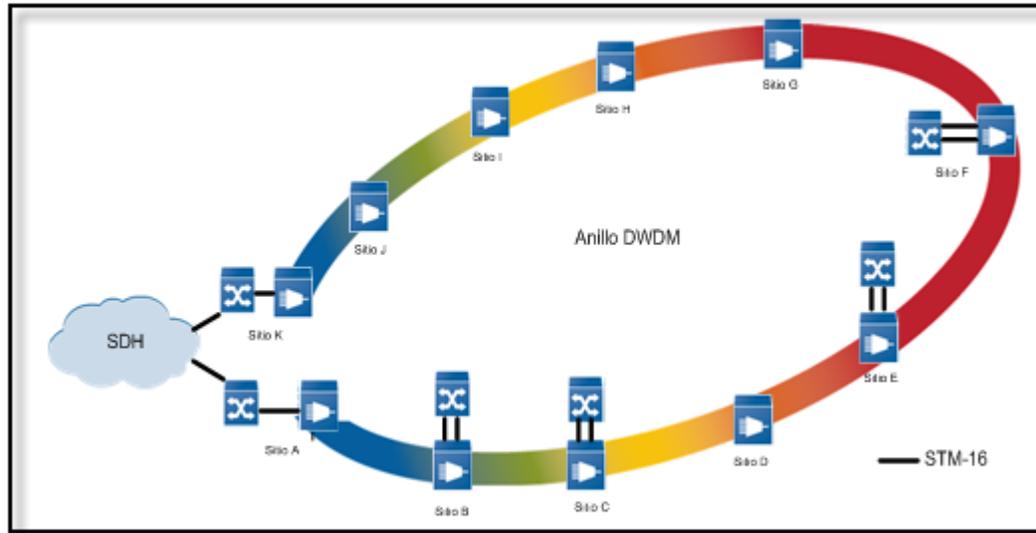
Fuente: elaboración propia.

Para el anillo de DWDM, cabe mencionar que el mismo ya se encuentra totalmente implementado, para este último sólo se realizará la habilitación de tres nuevas longitudes de onda para poder tener la capacidad de recolectar el nuevo tráfico de los anillos SDH.

Actualmente el Anillo DWDM tiene en funcionamiento 5 longitudes de onda. Las longitudes de onda que serán habilitadas en los equipos DWDM son:

- Longitud de onda 6 ( $\lambda_6$ )
- Longitud de onda 7 ( $\lambda_7$ )
- Longitud de onda 8 ( $\lambda_8$ )

Figura 44. **Anillo DWDM**



Fuente: elaboración propia.

## 4.2. Topología de red en STM-4

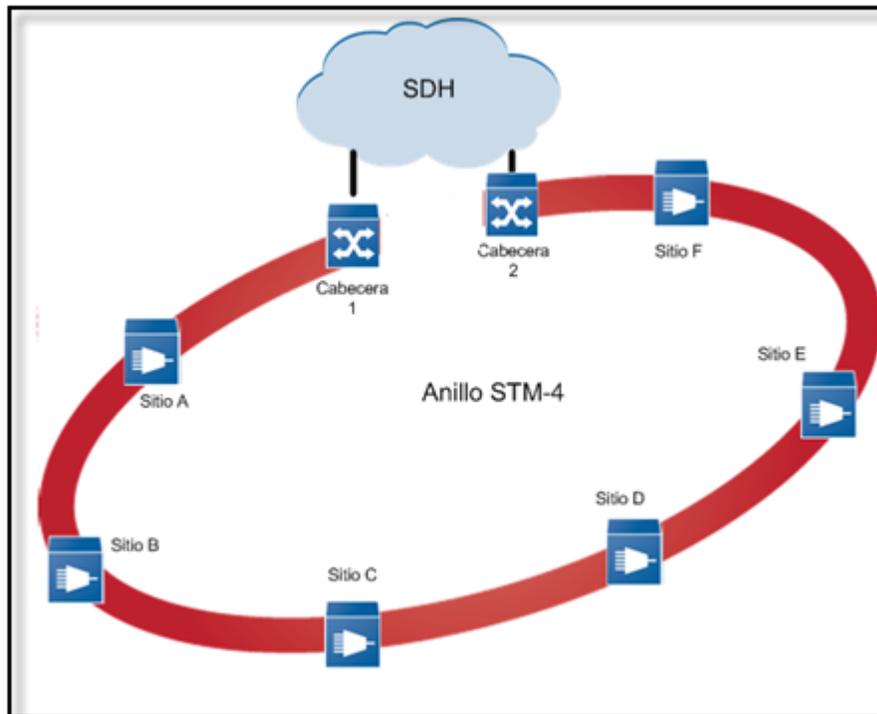
En estos anillos de SDH, en los cuales se instalará el nuevo equipo, se mantendrán en esencia los mismos sitios, como también las mismas cabeceras, los cambios que se realizarán en cada anillo se detallan a continuación.

### 4.2.1. Anillo SDH1

Para este anillo se mantendrán los mismos sitios pertenecientes al anillo de STM-1, con la única modificación que los tres equipos existentes en el sitio D serán reemplazados por un sólo equipo el cual tiene la capacidad de STM-4.

Bajo esta nueva estructura el anillo quedará formado de la siguiente manera. Ver figura 45.

Figura 45. **Anillo SDH1 capacidad STM-4**



Fuente: elaboración propia.

Dentro de los nodos denominados cabecera, no se reemplazarán los equipos, únicamente se procederá a cambiar los *transcievers* de capacidad de transmisión de STM-1 a capacidad STM-4.

Después de los cambios de equipo en los sitios, la utilización de la capacidad de E1's de los equipos quedará de la siguiente manera; ver tabla VII.

Tabla VII. **Nueva capacidad de transporte por sitio del anillo SDH1**

<b>Nombre</b>	<b>Circuitos bajada</b>	<b>Capacidad total</b>	<b>Expansión</b>
Sitio A	5	21	42
Sitio B	8	21	42
Sitio C	7	21	42
Sitio D	37	63	N/A
Sitio E	11	21	42
Sitio F	12	21	42

Fuente: elaboración propia.

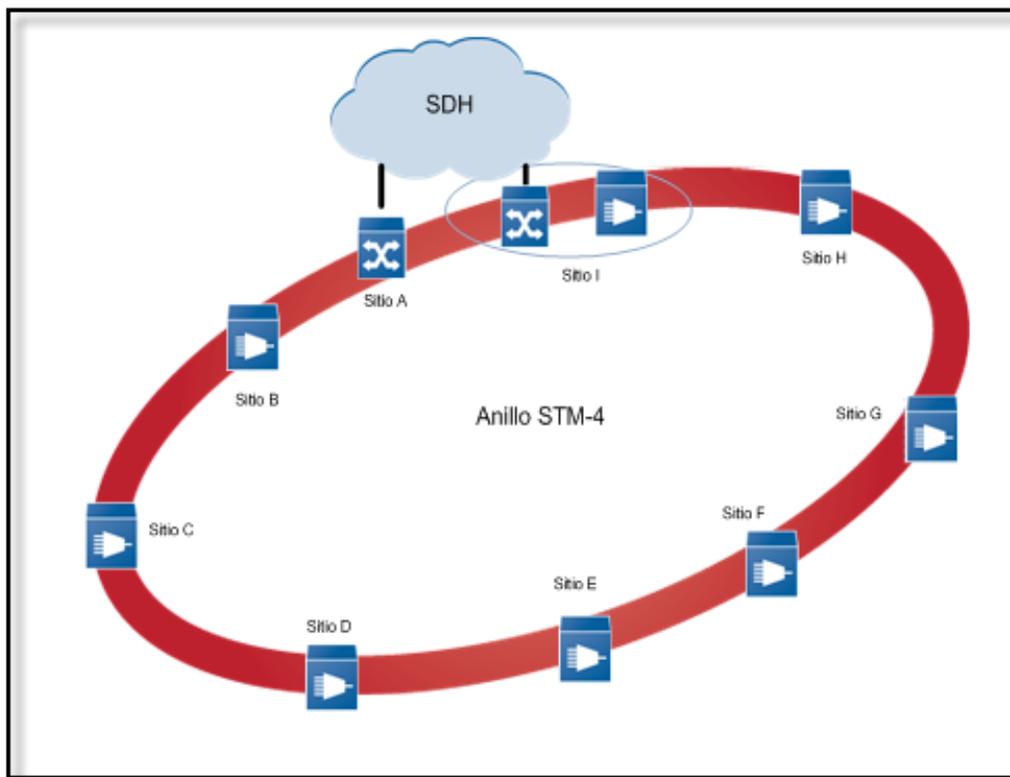
#### **4.2.2. Anillo SDH2**

En la implementación de equipo para este anillo, al igual que en el anterior, no variará la cantidad de sitios, mas aun así serán eliminados dos equipos en dos sitios, los cuales se detallan a continuación:

- El equipo del sitio A de tecnología STM-1 no será migrado, quedando en este sitio en funcionamiento únicamente el equipo denominado cabecera 1.
- En el sitio I el equipo de tecnología STM-1 no será migrado, pero a diferencia del sitio A en este sitio no se utilizará el equipo STM-4 ya existente, como también el nodo cabecera ya implementado en este sitio.
- En los nodos denominados cabecera, sólo se procederá a sustituir los *trancievers* de STM-1, por *trancievers* STM-4.

Después de estas implementaciones el anillo quedará de la siguiente manera; ver figura 46.

Figura 46. **Anillo SDH2 capacidad STM-4**



Fuente: elaboración propia.

La nueva capacidad de transmisión, la utilización actual y la capacidad de crecimiento de E1 con la que quedarán acondicionados los sitios se describe en la tabla VII.

Tabla VIII. **Nueva capacidad de transporte por sitio del anillo SDH2**

<b>Nombre</b>	<b>Circuitos bajada</b>	<b>Capacidad total</b>	<b>Expansión</b>
Sitio A	6	21	42
Sitio B	9	21	42
Sitio C	12	21	42
Sitio D	13	21	42
Sitio E	11	21	42
Sitio F	8	21	42
Sitio G	10	21	42
Sitio H	12	21	42
Sitio I	12	21	42

Fuente: elaboración propia.

#### **4.2.3. Anillo SDH3**

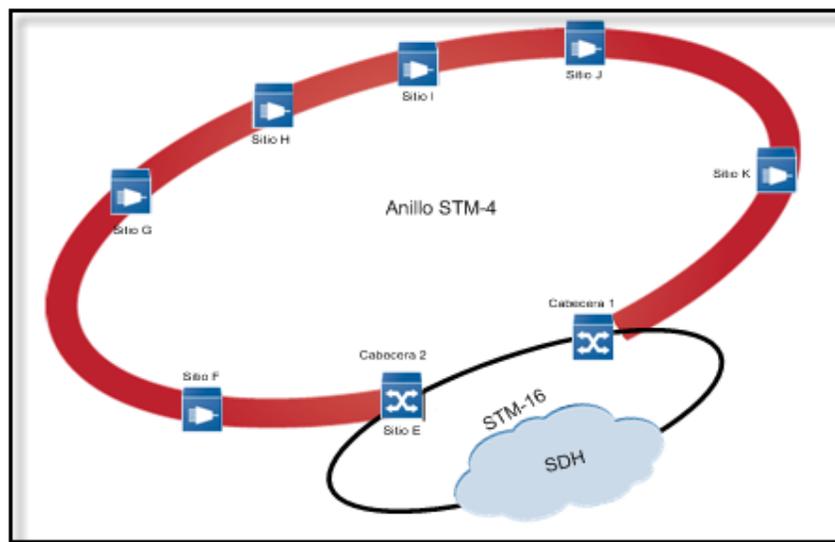
Finalmente, para la implementación de equipo de este anillo sí se tendrá variantes significativas, dado que se eliminarán sitios del anillo, como también se eliminará el equipo cabecera 3 y pasará a ser sustituido por el equipo cabecera 2, el detalle de los cambios se describe a continuación:

- Los equipos de tecnología STM-1 implementados que corresponden del A al E no serán migrados a tecnología STM-4, quedando de esta forma excluidos de este anillo.
- En el equipo ubicado en el nodo denominado cabecera 1 se sustituirán los *trancievers* STM-1 por *trancievers* STM-4.

- El equipo etiquetado como cabecera 3, será sustituido por el equipo etiquetado como cabecera 2, dicho equipo ya se encuentra implementado dentro del sitio E, solo se habilitaran nuevas posiciones con *trancievers* STM-4.
- Los tres equipos de tecnología STM-1 implementados en el sitio I serán sustituidos por un sólo equipo de tecnología STM-4.

Después de esta implementación la estructura del anillo quedará de la manera como se muestra en la figura 47.

Figura 47. **Anillo SDH3 capacidad STM-4**



Fuente: elaboración propia.

La nueva capacidad de E1 en los equipos localizados dentro de los sitios que conformarán el nuevo anillo SDH3 se especifica dentro de la tabla IX.

Tabla IX. Nueva capacidad de transporte por sitio del anillo SDH3

Nombre	Circuitos Baján	Capacidad Total	Capacidad Expansión
Sitio E	15	21	42
Sitio F	9	21	42
Sitio G	9	21	42
Sitio H	12	21	42
Sitio I	43	63	N/A
Sitio J	8	21	42
Sitio K	10	21	42

Fuente: elaboración propia.

#### 4.3. Tiempos de ejecución

Dentro de los recursos asignados al proyecto se tiene a disposición el siguiente personal:

- Un *project manager*
- Dos ingenieros soporte
- Un ingeniero de implementación
- Cuatro técnicos

Con este personal, hay un estimado de duración en la ejecución del proyecto de 14 semanas distribuidos como se muestra en la tabla X.

Tabla X. Tiempos de ejecución

Actividad	Tiempo estimado													
	Semana 1-2	Semana 3	Semana 4	Semana 5-6	Semana 7-8	Semana 9-10	Semana 11	Semana 12-13	Semana 14					
Estudio de Sitio	X													
Ingenierías		X	X											
Preparación equipo y material anillo DWDM			X											
Preparación equipo y material anillo SDH1			X											
Implementación anillo SDH1				X										
Migración de servicios anillo SDH1				X										
Preparación equipo y material anillo SDH2				X										
Implementación anillo SDH2					X									
Migración de servicios anillo SDH2						X								
Preparación equipo y material anillo SDH3						X								
Implementación anillo SDH3							X							
Migración de servicios anillo SDH3								X						
Solución pendientes de implementación										X				
ATP's												X		
Reportes finales														X

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4. Costo de ejecución

Dentro de los costos de ejecución del proyecto se tienen muchos rubros los cuales se deben tomar en cuenta, entre los principales costos que hay que tomar en cuenta y se detallan a continuación:

- Materiales
- Estudio de sitio
- Recurso humano implementación
- Recurso humano soporte
- Gastos diarios (viáticos)
- Recurso humano entrega de anillo
- Recurso humano *project manager*
- Gastos generales
- Seguros
- Alquiler de vehículo
- Recurso humano entrega de sitios

Dentro de estos rubros para este proyecto en mención se tiene asignado el siguiente presupuesto, el cual se detalla dentro de la tabla XI.

Tabla XI. Costo de materiales

No.	Act.	ITEMS	PRESUPUETO
<b>MATERIALES</b>			
1	1	Materiales	\$34 563,19
2	2	Herramientas	\$0,00
	<b>T</b>	<b>SUB TOTAL MATERIALES</b>	<b>\$34 563,19</b>

Continuación de la tabla XI.

<b>ESTUDIO DE SITIO</b>			
3	1	Personal	\$3 536,00
4	2	Vehículos	\$1 680,00
5	3	Combustible	\$840,00
6	4	Viáticos	\$980,00
7	5	Boleto e impuestos	\$0,00
8	6	Emergencias y comunicación	\$0,00
	<b>T</b>	<b>TOTAL ESTUDIOS DE SITIO</b>	<b>\$7 036,00</b>
<b>RECURSO HUMANO IMPLEMENTACIÓN</b>			
9	1	Personal	\$2 258,00
10	2	Personal pre proyecto	\$2 625,00
11	3	Subcontratistas (locales)	\$5 100,00
12	4	Desinstalación de equipo	\$6 200,00
	<b>T</b>	<b>TOTAL RECURSO HUMANO IMPLEMENTACIÓN</b>	<b>\$16 183,00</b>
<b>RECURSO HUMANO CIERRE ANILLOS</b>			
13	1	Personal	\$2 212,00
14	2	Vehículos	\$1 320,00
15	3	Combustible	\$660,00
16	4	Viáticos	\$1 540,00
	<b>T</b>	<b>TOTAL RECURSO HUMANO CIERRE ANILLOS</b>	<b>\$5 732,00</b>
<b>RECURSO HUMANO ENTREGA DE SITIOS</b>			
17	1	Personal	\$1 768,00
18	2	Vehículos	\$2 040,00
19	3	Combustible	\$880,00
20	4	Viáticos	\$1 190,00
	<b>T</b>	<b>TOTAL RECURSO HUMANO ENTREGA SITIOS</b>	<b>\$5 878,00</b>

Continuación de la tabla XI.

<b>RECURSO HUMANO SOPORTE NMS</b>			
21	1	Personal	\$4 050,00
22	2	Elaboración <u>SMOP's</u>	\$2 340,00
23	3	Fusiones	\$4 260,00
24	4	Técnicos migración	\$5 070,00
25	5	Ingeniero supervisor migraciones	\$1 768,00
26	6	Vehículos migraciones	\$4 080,00
27	7	Combustible migraciones	\$2 040,00
28	8	Viáticos grupo migraciones	\$5 950,00
	<b>T</b>	<b>TOTAL RECURSO HUMANO SOPORTE NMS</b>	<b>\$29 558,00</b>
<b>PROJECT MANAGEMENT</b>			
29	1	Personal	\$9 750,00
30	2	Gastos estadía	\$0,00
	<b>T</b>	<b>TOTAL PROJECT MANAGEMENT</b>	<b>\$9 750,00</b>
<b>ALQUILER DE VEHICULOS DE IMPLEMENTACIÓN</b>			
31	1	Vehículos	\$2 700,00
32	2	Combustible	\$1 350,00
	<b>T</b>	<b>SUB TOTAL DE VEHICULOS</b>	<b>\$4 050,00</b>
<b>ALQUILER DE VEHICULOS DE SUPERVISIÓN</b>			
33	1	Vehículos	\$0,00
34	2	Combustible	\$550,00
	<b>T</b>	<b>SUB TOTAL DE VEHICULOS SUPERVISIÓN</b>	<b>\$550,00</b>
<b>SEGUROS</b>			
35	1	Fianzas	\$1 900,00
36	2	Seguros de Transporte	\$0,00
37	3	Seguros equipo de medición US\$ 740.00 (1/4)	\$0,00
38	4	Seguros contra terceros	\$0,00
	<b>T</b>	<b>SUB TOTAL DE SEGUROS</b>	<b>\$1 900,00</b>

Continuación de la tabla XI.

<b>GASTOS DIARIOS IMPLEMENTACION</b>			
39	1	Viáticos	\$675,00
40	2	Hotel	\$900,00
41	3	Viáticos subcontratistas	\$712,50
42	4	Hotel subcontratistas	\$790,00
	<b>T</b>	<b>SUB TOTAL GASTOS DIARIOS</b>	<b>\$3 077,50</b>
<b>TOTAL GASTOS GENERALES DE PERSONAL</b>			
43	1	Comunicación	\$650,00
44	2	Internet	\$650,00
45	3	Consumibles	\$130,00
46	4	Llamadas telefónicas Guatemala y Gts. Admón.	\$0,00
47	5	Gastos de emergencias	\$5 050,00
	<b>T</b>	<b>TOTAL GASTOS GENERALES</b>	<b>\$6 480,00</b>
<b>GRAN TOTAL</b>			<b>\$124 757,69</b>

Fuente: elaboración propia.

#### **4.5. Procedimiento de ejecución**

La sistemática con la cual fue realizada la ejecución del proyecto se detalla a continuación.

##### **4.5.1. Estudio de sitio**

El objetivo principal de la realización de la actividad, que está basada en la obtención de datos puntuales sobre la infraestructura de sitios de los cuales serán utilizados para la implementación de equipo durante el desarrollo del proyecto, esto con finalidad de poder brindar una seguridad en el buen funcionamiento del equipo, una vez ya se encuentre implementado.

Esta actividad se documenta mediante la utilización de formato denominado reporte de estudio de sitio. En este documento además de realizar la función de registrar los datos que son tomados en cuenta y de vital importancia para la futura instalación de equipo, sirve para determinar también datos para la compra de materiales y herramientas necesarias para la implementación del equipo.

Los datos que son recopilados en el desarrollo del estudio de sitio se enumeran a continuación:

- Condiciones del sitio
  - Ubicación y acceso al sitio
  - Plano del sitio
- Tipo de infraestructura del sitio
- Energía disponible en el sitio
- Ubicación de equipos a instalar
- Distancias, tipos de ODF y conectores de fibra a utilizar
- Fotografías del sitio

#### **4.5.1.1. Condiciones del sitio**

Básicamente se refiere a las características con respecto a la infraestructura, así como la ubicación del sitio.

- Ubicación y acceso al sitio

En este segmento se busca determinar datos como la ubicación física del sitio, es decir, la dirección en caso de ser metropolitano, o las coordenadas GPS en caso de encontrarse en el área rural, este punto también radica en determinar qué tipo de vehículo se necesita para poder llegar al sitio.

Adicional en este segmento se especifica la información con respecto a si se necesita un permiso especial para el ingreso o si existe restricciones de horario, como también determinar qué tipo de llave se requiere para la apertura del sitio.

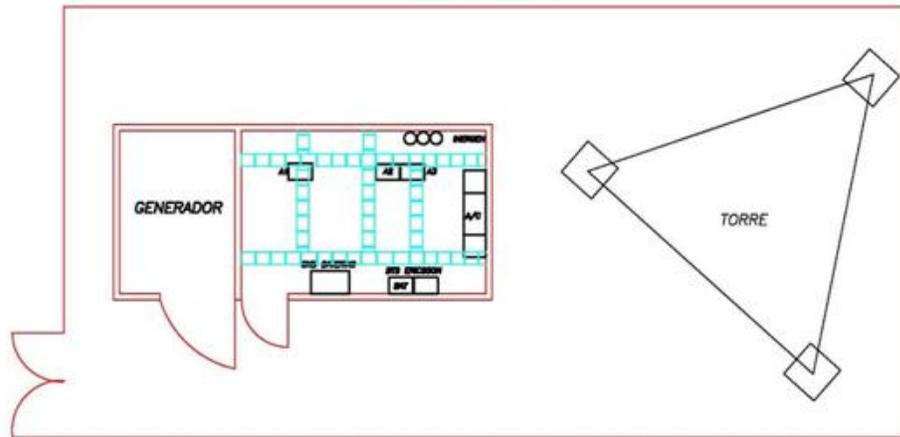
Toda esta información hasta el momento es básica para evitar inconvenientes en ingresos o transporte hace los sitios.

- Plano del sitio

Una vez se ha ingresado al sitio, se procede a realizar un levantado del plano de planta del sitio, esto para tener el registro de toda la infraestructura del lugar, así como determinar las medidas del mismo.

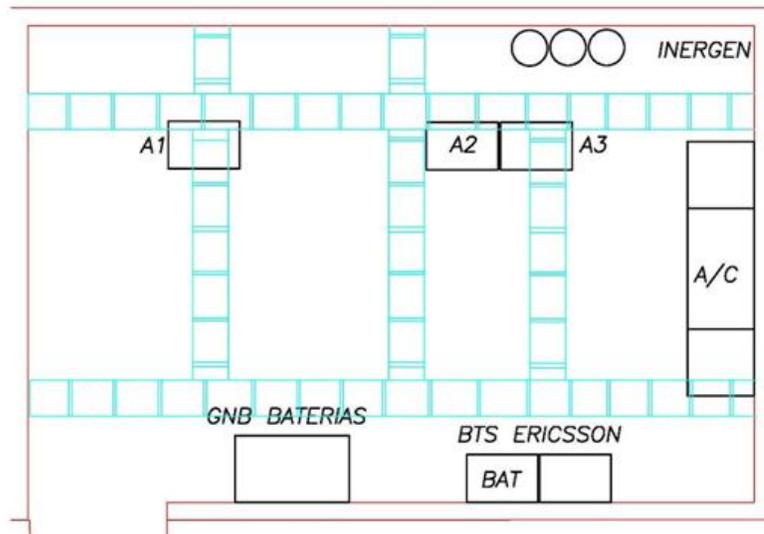
Este plano adicionalmente ayuda a determinar si el sitio se trata de una caseta o de una BTS en la cual se encuentran instalados los *racks* de equipos.

Figura 48. **Sitio con caseta**



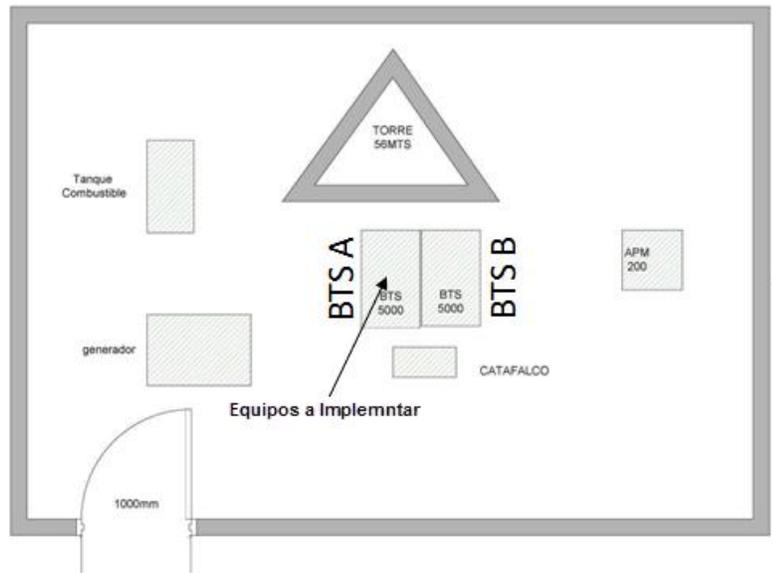
Fuente: elaboración propia.

Figura 49. **Foor plan caseta**



Fuente: elaboración propia.

Figura 50. **Sitio con BTS**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.5.2. Tipo de infraestructura del sitio

Dentro de los datos que se deben tomar en cuenta en la elaboración de un plano de sitio se deben tomar en cuenta los siguientes tres aspectos:

- Escalerillas: éstas pueden variar dependiendo de la aplicación ya que pueden ser para energía o para cables de datos, existen de diferentes tipos de los cuales se mencionan algunos:
  - *Powertray*: esta escalerilla es para uso liviano que otorga una gran flexibilidad y versatilidad en sitio, ésta se distingue porque está hecha con alambres galvanizados.

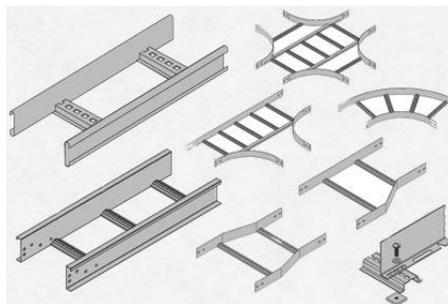
Figura 51. **Escalerilla Powertray**



Fuente: <http://portaconductoreschile.cl/category/escalerillas-y-accesorios-electricos/>. Consulta: 8 de agosto de 2011.

- *Rack* de cables: ésta puede ser sólida o tubular y permite una forma más fácil de transportar los cables de energía o de otro tipo ya que estas se prestan para soportar más carga en lo que se refiere a peso.

Figura 52. **Tipos de escalerillas de cables**



Fuente: <http://portaconductoreschile.cl/category/escalerillas-y-accesorios-electricos/>. Consulta: 8 de agosto de 2011.

Las alturas a la cual se deben de instalar varían, pero la distancia mínima que ésta se coloca, es aproximadamente de 2,20 mt esto porque la altura de los *racks* es aproximadamente entre 2 mt y 2,20 mt, es aconsejable que la escalerilla instalada sea aterrizada conjunto al anillo de tierras existente del sitio. Generalmente los racks se sujetan a las escalerillas del tipo sólido o tubular; esto para que tengan unos soportes superiores y no queden anclados únicamente por la base.

- Tipos de piso: esto básicamente aplica para los sitios que son de caseta. En estos sitios se debe tomar en cuenta el tipo de piso existente, para el presente caso el piso puede ser una de las siguientes opciones:
  - Concreto
  - Piso falso o antiestático
  
- Tipos de rack: para poder determinar qué tipo de rack necesitamos para la instalación se debe tener el conocimiento de qué tipo de equipo se va instalar para saber si se puede adecuar a los racks ya existentes o si será necesario instalar uno nuevo, o bien poder calcular si el espacio disponible en los racks existentes es el suficiente para la correcta instalación del equipo. Básicamente se trabaja con los siguientes tipos de racks:
  - *Rack* de 19"
  - *Rack* de 21"
  - Gabinete cerrado

Después de determinar el tipo de *rack* y los espacios disponibles se procede a verificar la disponibilidad de energía.

### 4.5.3. Energía disponible en el sitio

Al igual para poder determinar este punto, debemos conocer con exactitud qué tipo de equipo es el que se necesita instalar, para poder conocer qué demanda de energía requiere el mismo.

Con lo que respecta a energía, es la alimentación existente en los sitios ésta puede ser de 4 diferentes tipos:

- 110V – 220V AC
- 24v DC
- -48v DC
- Banco de baterías

Comúnmente los equipo utilizan -48V DC y es el tipo de energía más encontrada dentro de los sitios, éstos varían dependiendo de su aplicación, lo cual conlleva al uso de rectificadores, convertidores y distribuidores de energía, los cuales tienen que estar bien identificados para saber su capacidad, su carga conectada y espacios disponibles.

Dentro del estudio de sitio en este aspecto, es necesario determinar ciertos aspectos importantes para la futura instalación, estos aspectos son: tipo y marca de distribuidores o rectificadores, el tipo y calibre de cable necesario (para el equipo, por lo general se instalan cables TSJ 2X12 o 2X14), tipo y capacidad de *breakers*, flipones y/o fusibles, así como las posiciones disponibles en los distribuidores para estos.

En la toma de estos datos, se debe tomar en cuenta que la instalación del equipo posee dos fuentes de alimentación, las cuales son: principal y de redundancia, están deben ser energizadas de distribuidores independientes, para poder garantizar la protección del equipo ante cualquier falla de los distribuidores. Finalmente, se debe determinar la ruta en la cual se realizarán los tendidos de cable del equipo hacia los distribuidores de energía, dentro de este punto se determina también, la distancia de cable que se requerirá.

#### **4.5.4. Espacio disponible en sitio**

Dentro de este punto se define dos aspectos importantes, los cuales son el espacio disponible dentro de los *racks* ya instalados y la disponibilidad de espacio dentro de la sala para la instalación de un nuevo rack. Para poder determinar el espacio disponible en los racks ya instalados se debe conocer las unidades de rack que necesita cada equipo para poder ser instalados dentro de un rack, en caso de que las unidades de racks disponibles sean menores a las necesarias se procede a determinar si existe espacio para instalación de un nuevo rack y determinar se esté dentro del plano del sitio para proceder a su instalación.

#### **4.5.5. Distancias, tipos de ODF y conectores de fibra a utilizar**

Finalmente, queda pendiente determinar las rutas de fibra óptica que se utilizarán en la implementación de los equipos, para este aspecto se debe tomar en cuenta si dentro del sitio hay existencia de ODF's así como también su tipo de conector, de no existir ODF's se debe determinar, mediante la ruta a utilizar, la distancia de las fibras y nuevamente el tipo de conectores necesarios en ambos equipos.

Para ambos casos se debe tener ya un conocimiento de las posiciones de conexión asignadas tanto de los equipos a instalar, así como de los accesos de fibra al nodo. Los accesos al nodo son ODF's, los cuales pueden ser desde ODF de 4 puertos hasta 96 puertos, los datos que se recopilan de estos equipos son:

- Marca de ODF
- Posiciones
- Origen
- Destino
- Tipos de conector

Estos datos deben ser recopilados en todos los ODF que serán utilizados, ya que son de vital importancia para la futura obtención de fibras ópticas, para la implementación de los nuevos equipos. En el aspecto de los tipos de fibras a utilizar se tienen las fibras mono modo y las multimodo, para nuestro caso se utilizaran fibras mono modo las cuales pueden ser:

- Non-dispersion-Shifted Fiber (NDSF). ITUT G652
- Non-zero dispersion-Shifted Fiber(NZ-DSF) ITUT G655

#### **4.5.6. Fotografías**

El último paso a realizar en un estudio de sitio es documentar mediante fotografías todos los datos recopilados, esta práctica se realiza con dos finalidades: la primera es para ilustrar el documento de ingeniería que se debe realizar con los datos recopilados, y la segunda es tener un apoyo visual, si en dado caso no se registró toda la información necesaria para la instalación.

## **4.6. Caracterización de fibra**

La demanda de fibra óptica en el mundo está creciendo considerablemente, las redes cada vez son mayores, más confiables y más potentes. Por estas razones es necesario certificar la fibra óptica sobre la cual será transmitida la información y así cumplir con estos tres requerimientos.

Un artefacto de mucha ayuda para el desarrollo de las redes es el OTDR (reflectómetro óptico en el dominio del tiempo), el cual se convierte en la principal herramienta para desarrollar una caracterización de fibra.

### **4.6.1. OTDR**

El OTDR es el instrumento más adecuado para la caracterización de fibras en el dominio del tiempo. Este aparato puede evaluar las propiedades de una fibra o de un enlace completo, en particular puede detectar rápidamente pérdidas, fallas y la distancia entre sucesos dentro de un hilo de fibra.

El OTDR usa las propiedades de dispersión de una fibra para determinar la atenuación total. Esto se realiza mediante un pulso de luz de duración muy corta el cual es lanzado a través de la fibra, y una porción de ese pulso que viaja en dirección a la salida de la fibra se dispersa y es capturado en la fibra en la dirección inversa. El impulso incidente se atenúa mientras viaja en dirección al final de la fibra. De la misma manera, el pulso viajando en la dirección opuesta, se atenúa en la misma magnitud.

La traza de un OTDR es única para la fibra y los conectores, ya que muestra la atenuación en cada punto a lo largo de la fibra. La mayor ventaja del OTDR es que la medición se realiza de un sólo extremo de la fibra.

En las mediciones de OTDR para una fibra hay ciertos aspectos importantes que se debe tomar en cuenta, como los siguientes:

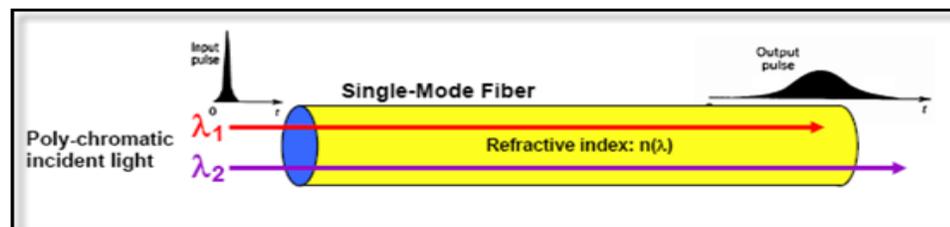
- Dispersión cromática (CD)
- Dispersión por polarización de modo (PMD)

#### 4.6.1.1. Dispersión cromática

Representa el retraso o incremento del tiempo (en pico segundos), para una fuente con anchura espectral específica, lo cual depende del tipo de fibra, y esto limita el *bit rate* o la distancia de transmisión para una buena calidad de servicio.

El ensanchamiento que sufren los pulsos de luz, es un factor crítico que limita la calidad de transmisión de señal en los cables ópticos, esto es una consecuencia de las propiedades físicas del medio de transmisión. En una fibra óptica mono modo, la dispersión cromática causa el ensanchamiento de los pulsos de luz según la longitud de onda. Un ensanchamiento excesivo provocará una superposición de pulsos los cuales nos representarán errores en la codificación.

Figura 53. Dispersión cromática en una fibra mono modo.



Fuente: Telnet Fibra óptica para NGN – Dispersión cromática y PMD. p.2.

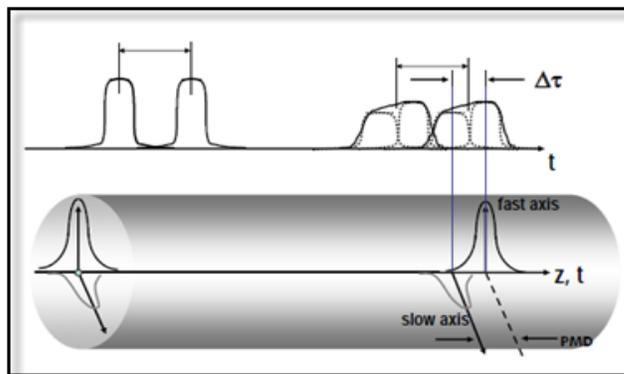
#### 4.6.1.2. Dispersión por modo de polarización

Es un efecto de dispersión óptico, que limita la calidad de la transmisión en los enlaces de fibra óptica, ya que provoca el ensanchamiento del pulso según la polarización causando interferencia al igual que en CD. Su control se está convirtiendo en esencial, ya que limita la capacidad de transmisión a altas velocidades, especialmente en aquellos por encima de los 10 Gbps.

El PMD es un parámetro difícil de medir y compensar dada su naturaleza estadística, y depende fuertemente de las condiciones físicas del cable (ambientales y mecánicas). El origen físico del PMD es fundamental a la birrefringencia de la fibra, que produce en las diferencias por las constantes en los ejes ortogonales.

Estas diferencias se producen por imperfecciones en el proceso de fabricación de la fibra o como resultado de fuerzas externas que producen doblados y tensiones en la fibra.

Figura 54. Retraso de las componentes de la señal



Fuente: Electro-Optical Engineering Inc. – EXFO. p.2.

#### 4.6.2. Procedimientos para caracterización de fibra

Al realizar una caracterización de fibra hay ciertos aspectos los cuales se deben tomar en cuenta antes de poder realizar una medición de un hilo de fibra, estos pasos se enumeran a continuación:

- Inspección: paso mediante el cual puede determinar
  - Tipo de conector
  - Posiciones
  - Pulido de la fibra UPC – APC
  - Estado
    - ❖ Limpieza
    - ❖ Daños en los conectores
  
- Prueba de continuidad: esta es únicamente para determinar la longitud total del hilo de fibra y verificar que no existan cortes dentro del tramo en el cual se realizará la medición, esta prueba de continuidad se deben tomar en cuenta las siguientes características:
  - Atenuación a 1 310 nm
  - Atenuación a 1 550nm
  - ORL *optical return loss*
  - Realizar pruebas de ambos lados

Estas pruebas iniciales se hacen para evitar realizar una caracterización de fibra en un hilo que tenga cortes de fibra, o tener errores en las mediciones por poseer suciedad en los conectores, esto con la finalidad de realizar una medición objetiva y de la mejor manera posible.

Una vez realizada las pruebas anteriores, se debe tomar en cuenta cinco parámetros esenciales los cuales se le deben configurar al OTDR para poder realizar una buena medición, estos parámetros a considerar son:

- Índice de refracción: parámetro importante para determinar la exactitud de la medición.
- La longitud de onda: se recomienda realizar la medición en longitud de onda de 1 550 nm dado que tiene la mayora atenuación.
- Ancho de pulso: para distancias pequeñas ancho de pulsos pequeños y viceversa.
- Distancia: este parámetro se determina con la prueba de continuidad.
- Tiempo: establece tiempo de duración de la prueba.

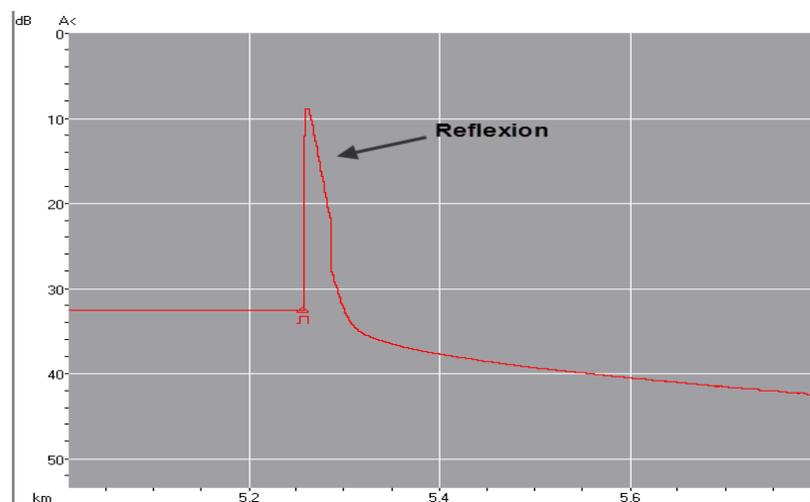
Adicional a la configuración de estos parámetro se debe utilizar en la medición bobina de lanzamiento (recomendable entre 500m y 1,5km), esto para evitar que la zona muerta de la medición impida registrar el primer evento importante dentro de la medición el cual sería el primer conector.

Todo lo anteriormente descrito, sirve para garantizar que las mediciones, son objetivas y lo más cercanas a la realidad, dado que ayuda a minimizar los errores.

Dentro de los sucesos que se enlistan y son importantes, un OTDR determina los siguientes:

- **Eventos reflectivos:** son conocidos como todos aquellos eventos los cuales no reflejan una cantidad significativa de luz como lo puede ser un conector inicial o final así como fisura en la fibra, estos eventos para tener una buena medición no deben ser mayores de 5 db.

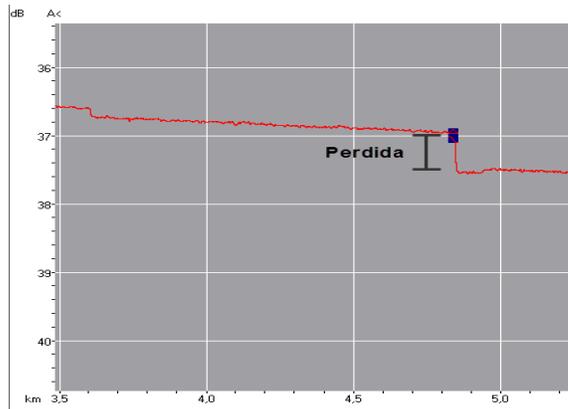
Figura 55. **Evento reflectivo**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos por medición OTDR.

- **Atenuación:** es todo tipo de pérdida que se puede generar dentro de un hilo de fibra óptica, el cual puede ser causado por fusiones, o bien la distancia recorrida en la fibra óptica.

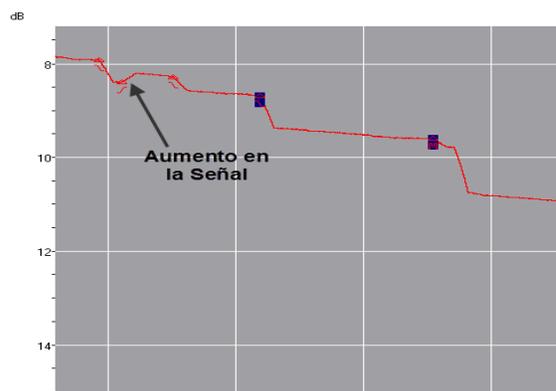
Figura 56. **Atenuación por fusión**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos por medición OTDR.

- Aumento: en realidad no es una ganancia de potencia, pero representa que existe una fusión en la cual se pasa hacia una fibra de mejor calidad causando un aumento en la señal.

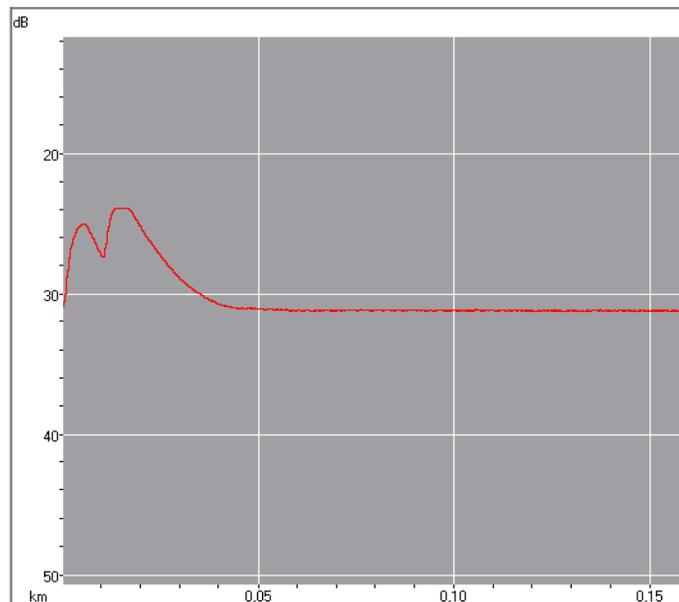
Figura 57. **Aumento de señal**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos por medición OTDR.

- Zona muerta: es el primer punto en cual el OTDR realiza la primera medición pero la reflexión debido que recibe el primer cambio de medio ya que la señal sale del equipo hacia la fibra, y es tan grande la reflexión que el equipo no puede registrarla generando lo que se conoce como zona muerta.

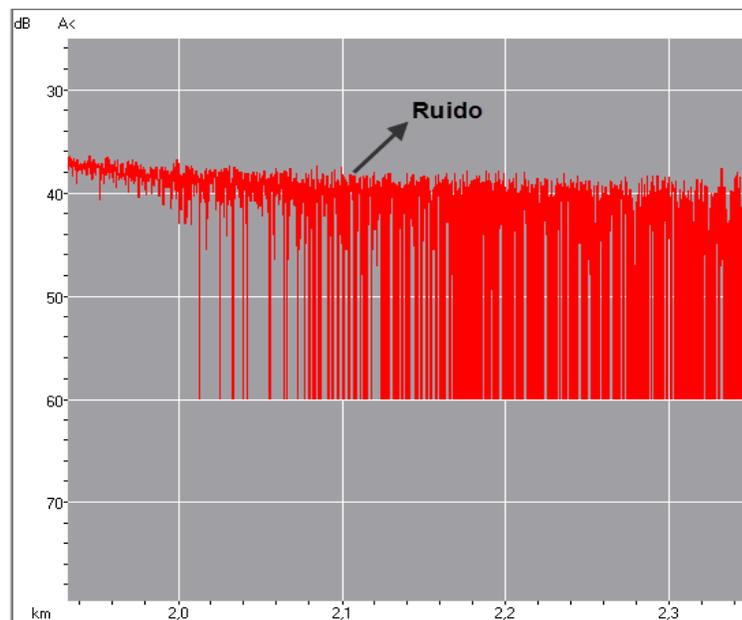
Figura 58. **Zona muerta**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos por medición OTDR.

- Ruido: se le llama así a los tramos donde la fibra tiene fuga de luz y causa variaciones constantes en la medición, o bien no puede identificar el final del hilo de fibra en la medición.

Figura 59. **Ruido en mediciones**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos por medición OTDR.

Adicional el OTDR, también puede mostrar la cantidad de decibels (db) que se pierden a lo largo del tramo de fibra al cual se le está realizando la medición.

En este caso la mediciones de OTDR se utilizaran para determinar si el estado de los hilos actuales en los anillos, posee las condiciones óptimas para poder transportar señales de mayor capacidad sin atenuarlas o causar problemas con las mismas, así como para determinar las distancias existentes entre los sitios, lo cual se detalla en las tablas XII, XIII y XIV respectivamente.

Tabla XII. **Mediciones anillo SDH1**

<b>Anillo 1</b>			
<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Distancia</b>	<b>Atenuación</b>
Cabecera 1	Sitio A	3,9866 Km	1,60 dB
Sitio A	Sitio B	24,6644 Km	5,255 dB
Sitio B	Sitio C	2,9498 Km	0,91 dB
Sitio C	Sitio D	10,981 Km	2,43 dB
Sitio D	Sitio E	8,55 Km	3,08 dB
Sitio E	Sitio F	3,1429 Km	1,5 dB
Sitio F	Cabecera 2	11,61 Km	4,29 dB
Cabecera 2	Cabecera 1	7,095 Km	2,87 dB

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Mediciones anillo SDH2**

<b>Anillo 2</b>			
<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Distancia</b>	<b>Atenuación</b>
Sitio A	Sitio B	4,4192 Km	2,51 dB
Sitio B	Sitio C	1,6398 Km	14,83 dB
Sitio C	Sitio D	4,5916 Km	0,881 dB
Sitio D	Sitio E	9,1375 Km	20,904 dB
Sitio E	Sitio F	12,140 Km	4,701 dB
Sitio F	Sitio G	23,5947 Km	6,513 dB
Sitio G	Sitio H	29,0434 Km	8,506 dB
Sitio H	Sitio I	6,7087 Km	12,455 dB

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Mediciones anillo SDH3.**

<b>Anillo 3</b>			
<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Distancia</b>	<b>Atenuación</b>
Sitio E	Sitio F	8,756 Km	1,983 dB
Sitio F	Sitio G	6,0308 Km	1,261 dB
Sitio G	Sitio H	9,0378 Km	2,797 dB
Sitio H	Sitio I	18,6656 Km	3,714 dB
Sitio I	Sitio J	15,9341 Km	3,52 dB
Sitio J	Sitio K	7,6919 Km	1,732 dB

Fuente: elaboración propia.

En el presente caso para el anillo DWDM, no se realizan mediciones, ya que el mismo ya se encuentra habilitado, sólo se realizarán habilitaciones de longitudes de onda nuevas sobre la misma red.

## 5. INSTALACIÓN DE EQUIPOS Y MIGRACIONES DE SERVICIOS

### 5.1. Implementación de equipo

Desarrollo del procedimiento de la instalación de los nuevos equipos, tanto de manera física, como también, la creación de los equipos a nivel de sistema de gestión, lo cual comprende la fase I de la implementación de los equipos.

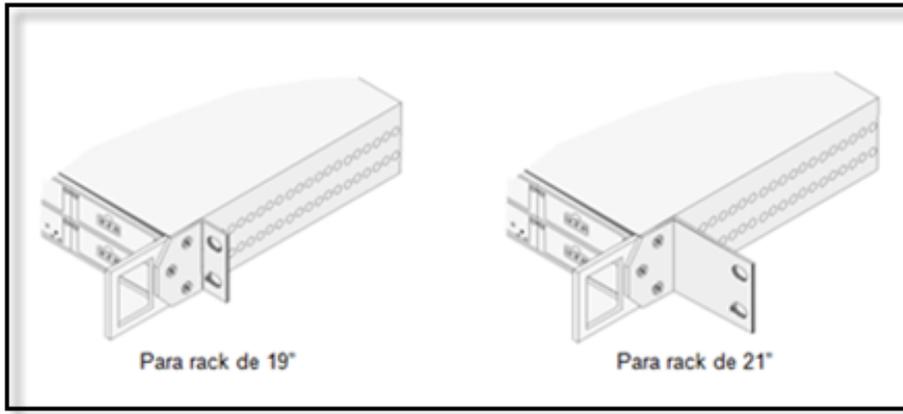
#### 5.1.1. Instalación física

Ya determinados los espacios, distancias de cableados, conectores, distribuidores donde se tomará la energía, y todos los aspectos necesarios que fueron tratados en el estudio de sitio, la instalación física de los equipos se realiza de la siguiente manera:

- Montaje de equipo al *rack*
- Conexiones de energía
- Aterrizaje de equipos
- Instalación de módulos o tarjetas de cada equipo
- Tendido y conexiones de fibra óptica
- Etiquetados e Identificación de equipos

Montaje de equipo al *rack*: para realizar este montaje, primero se debe realizar la instalación de las escuadras laterales tanto del lado izquierdo como del lado derecho, como se puede observar en la figura 60.

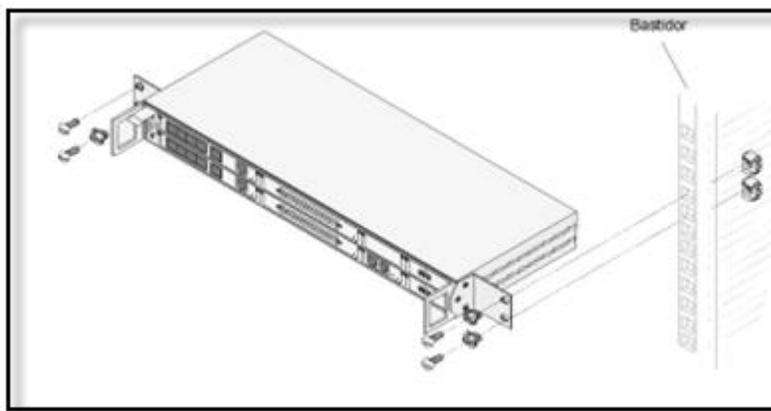
Figura 60. **Escuadras laterales**



Fuente: Manual Instalaciones Tellabs. p.3.

Luego se coloca el equipo sujetándolo con cuatro tornillos M6, que incluyen arandelas protectores como se muestra en la figura 61.

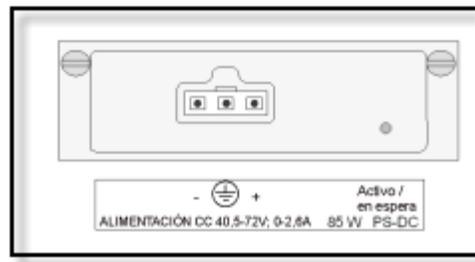
Figura 61. **Instalación de equipo en el rack**



Fuente: Manual Instalación Tellabs. p.3.

Conexiones de energía: para las conexiones de energía se realizan conexiones hacia dos fuentes, las cuales son totalmente independientes, éstas conexiones se realizan con cable TSJ calibre 3X14, las distancias ya fueron determinadas previamente con el estudio de sitio. Para el presente caso se realizarán las conexiones hacia los distribuidores de -48 V con fusibles de bandera de 5 amp. La instalación se muestra en la figura 62.

Figura 62. **Conexión de energía en el equipo**



Fuente: Manual de instalación Tellabs.p.4.

Para el cable TSJ, para que se pueda instalar en la anterior clavija se debe utilizar el siguiente código de colores para las conexiones del lado del extremo abierto.

Tabla XV. **Conexiones cable TSJ de 3 polos**

Cable TSJ		
1	0 V (UB-RTN)	Marrón
2	Tierra	Amarillo/Verde
3	-40.5 a -72 VCC (UB)	Azul

Fuente: elaboración propia.

Aterrizaje de equipos: para realizar el aterrizaje del equipo se realiza mediante el cable amarillo/verde del TSJ, éste se conecta hacia la barra de tierra del *rack* (si existe la misma), o bien hacia la barra de tierra principal del sitio. Para esta instalación se sujeta en la barra de tierra mediante una terminal de ojo, para esta instalación se debe tomar en cuenta que en ángulo de conexión del cable no quede a 90°.

Figura 63. **Aterrizaje de equipos**



Fuente: barra de tierra secundaria, sitio Tecpán.

Instalación de módulos o tarjetas de cada equipo: una de las mayores ventajas que tienen los nuevos equipos a instalar, es que son modulares, por lo tanto se pueden configurar de varias formas, para este caso se usaran los módulos que se indican en la tabla XVI.

Tabla XVI. **Módulos a utilizar**

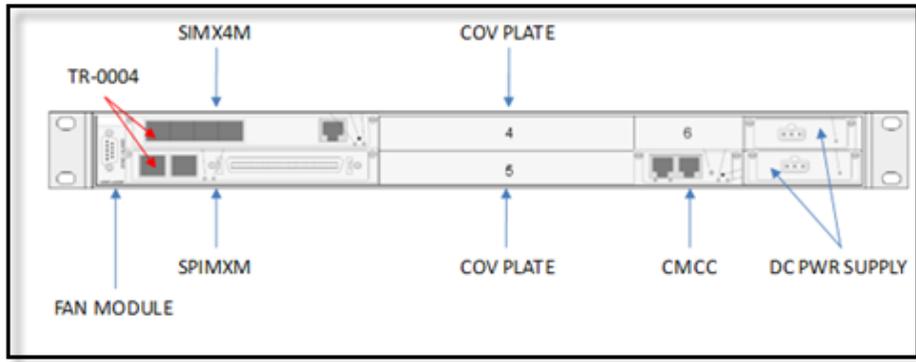
<b>No</b>	<b>Módulo</b>	<b>Descripción</b>
1	PS	Módulo de voltaje
2	CMCC	Módulo controlador del equipo
3	PIM1	Módulo de tributario (21 e1´s)
4	SPIMXM	Módulo de tributario, con matriz de cross-conexión
5	FAN	Módulo de ventiladores
6	SINX4M	Módulo de conexiones ópticas a nivel STM-4 con matriz de cross-conexión
7	COV PLATE	Tapaderas de metal para espacios libres.

Fuente: elaboración propia.

Estos módulos son instalados en los espacios del equipo de la siguiente manera:

- PS exclusivos para instalar en espacios 8 y 9
- CMCC exclusivo para instalar en espacio 7
- FAN exclusivo para instalar en espacio 1
- PIM1 se puede instalar en espacio 4 ó 5
- SPIMXM se puede instalar en espacio 2 y 3
- SINX4M se puede instalar en espacio 2 y 3

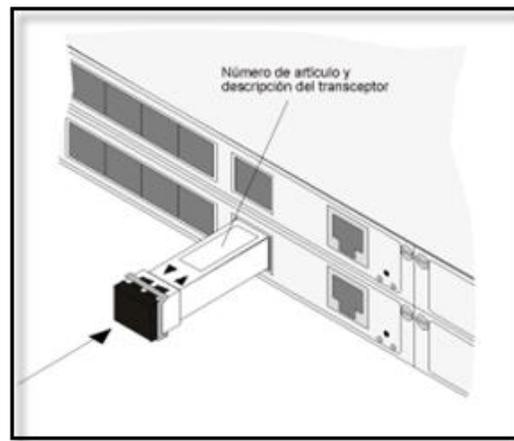
Figura 64. **Equipo con módulos instalados**



Fuente: Manual instalación Tellabs. p.8.

Después de instalar los módulos dentro del equipo, se debe instalar los *trancievers* que se necesiten, para el presente caso, se utilizarán *tranciever* TR-0004, los cuales tiene capacidad de trabajar a nivel de STM-4. Los *trancievers* se instalan de la siguiente manera:

Figura 65. **Inserción de *tranciever***



Fuente: Manuel de instalación Tellabs. p. 9.

Tendido y conexiones de fibra óptica: los tendidos de fibra se realizan según las especificaciones tomadas en el estudio de sitio, dentro de las cuales indicaban la utilización de ODF's, organizadores y/o escalerillas, las posiciones de conexión son determinadas en la ingeniería del proyecto.

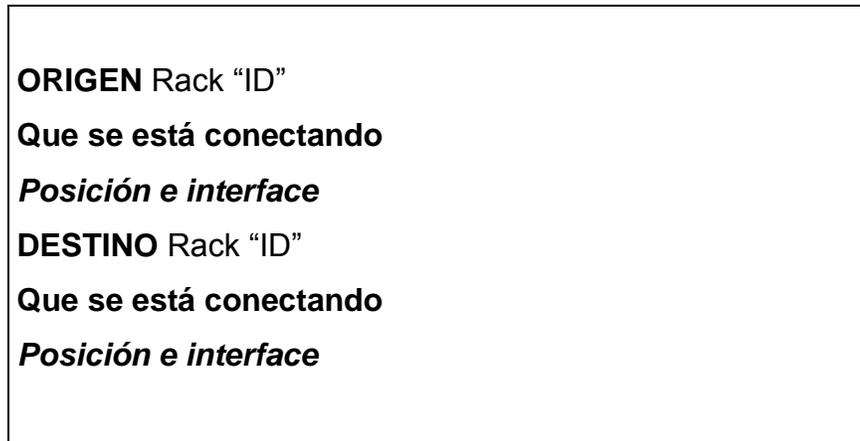
Dentro del tendido de fibras se tiene que poner especial énfasis, en no lastimar las fibras con mascones y/o doblones, así como no estirarlas al jalarlas demasiado fuerte. Otro aspecto importante, es no ensuciar los extremos de la fibra, dado que los mismos son los que se conectan a los equipos, y la suciedad genera pérdidas y degradaciones innecesarias en los sistemas de transmisión.

Etiquetados e Identificación de equipos: uno de los últimos procesos que se realizan en la instalación física de nuevos equipos, es el de etiquetado e identificación de equipos instalados y conexiones, dentro del proceso de etiquetado de conexiones se debe dejar de forma clara y explícita la ubicación de la conexión de origen, así como la ubicación del destino, esto se realiza para conexiones ópticas, eléctricas, como también de energía.

Esta etiqueta es colocada en ambos extremos de la conexión, para quedar de la mejor manera identificada, y que sea de fácil ubicación en el momento de realizar una verificación de conexiones.

Los datos mínimos que debe contener una etiqueta se muestran en la figura 66.

Figura 66. **Etiqueta de identificación**



Fuente: elaboración propia.

Adicional del etiquetado de las conexiones, se debe colocar una etiqueta indicando el nombre con el cual será identificado el nuevo equipo instalado, esta etiqueta debe realizarse de manera clara y del mayor tamaño posible, así mismo debe colocarse en un lugar visible para la fácil ubicación del equipo.

### **5.1.2. Creación de circuitos y dibujado en gestión de equipo**

Después de terminar la instalación mecánica del equipo se procede a dibujar el nodo dentro del INM (Intelligent Network Management), plataforma la cual brinda la gestión de los equipos, así como el monitoreo de la red.

Para poder dibujar un nuevo equipo dentro de la gestión, el primer paso que se debe realizar es conectarse al equipo físicamente en el sitio para poder realizar las configuraciones básicas del equipo, estas configuraciones básicas son las siguientes:

- *Basic commissioning*: crear inventario de módulos y *transceivers*.
- Verificación de conexiones: mediante verificación de niveles ópticos.
- Habilitación de canales de gestión: paso muy importante para poder realizar gestión remota mediante INM.

Después de haber realizado estos pasos para la configuración inicial, los cuales se realizan localmente en el equipo, se procede a ingresar el equipo a la plataforma INM, para esto se necesita saber la siguiente información:

- Tipo equipo a dibujar: dado que existen diferentes equipos con diferentes características y capacidades.
- Saber el área al cual va a pertenecer: la red se divide en áreas por localidades para facilitar el manejo de la misma.
- Datos del equipo: conocer el nombre que se le asignará, que versión de software va manejar, y saber la NSAP.

Ya con esta información disponible se procede a ingresar a Network Editor dentro del INM, y se procede a dibujar el nuevo nodo realizando los siguientes pasos:

- a) Seleccionar la opción *New Node* el tipo de equipo a dibujar
- b) Ingresar el área donde se desea instalar

- c) Ingresar la siguiente información:
- Nombre asignado al equipo
  - Versión actual del software
  - Nombre del cliente
  - NSAP
- d) Revisar conexiones hacia nodo vecinos (mediante niveles ópticos)
- e) Agregar módulos del equipo en la base de datos
- f) Dibujar troncales de conexión a nivel STM-4 (para este caso)
- g) Dibujar troncales virtuales VC-4 por cada AU-4 a utilizar.

Después de completar estos pasos se tiene listo el nuevo equipo para poder pasar tráfico de datos.

## **5.2. Migración de servicios**

La migración de servicios comprende a la fase II de la implementación, la creación de circuitos se realiza para poder pasar tráfico de datos por lo equipos instalados, para poder realizar estos cambios se debe realizar una serie de actividades previas a la actividad de migración las cuales se describen a continuación:

- El primer paso que se debe realizar es un listado de circuitos de los cuales se verán afectados en la ejecución de la migración.
- Crear un *backup* de las rutas actuales de los circuitos, para poder regresarlos a su configuración en caso de ser necesario un procedimiento de *rollback*.

- Verificar si los circuitos poseen protección, para este punto se deben realizar dos análisis:
  - Protección alto orden: se refiere a revisar que las troncales a nivel STM-N se encuentran protegidas, de ser así no es necesario realizar la revisión de protección de bajo orden.
  - Protección bajo orden: esta revisión se refiere a revisar circuito por circuito de que exista protección del mismo.
  
- Análisis de capacidad de troncales, se debe realizar la verificación que las troncales aun tengan capacidad de transportar tráfico.
  
- Creación de SMOP (Service Method Of Procedure): el SMOP que será utilizado en la migración de los servicios, consta básicamente en el listado de circuitos que se verán afectados dentro de la actividad, además de ser el documento en el cual se plasma el cronograma de actividades en orden secuencial y cronológico para la migración. La estructura de un SMOP básicamente consta en los siguientes aspectos:
  - Objetivo de la migración
  - Calendarización de la migración
  - Responsables de la migración
  - Personal involucrado en la migración
  - Requerimientos para la ejecución
  - Procedimiento
  - Impacto del proyecto (afectación de tráfico)
  - Cronograma de actividades específicas
  - Procedimiento de *rollback*

El formato en cual se presenta los circuitos se puede observar en la tabla XVII.

Tabla XVII. **Formato de presentación de circuitos a ser migrados**

ID	Nombre	No. instalación	Equipo actual	Unidad e interface actual
234	Circuito A sitio I - sitio J	123	Equipo 1	U2 / IF 3

Fuente: elaboración propia.

Al completar todas estas actividades, se puede realizar la migración de servicios, se debe tomar en cuenta que estas migraciones se realizan en dos sitios al mismo tiempo, para lo cual se realiza de la siguiente manera:

- Paso 1: revisión de alarmas de los nodos y verificación de niveles ópticos. Este paso se realiza para verificar que servicios se encuentran funcionando de manera correcta y cuales está de baja.
- Paso 2: cambio de conexiones de fibra óptica en sitio 1. Desconexión de hilos de fibra de equipos antiguos y conexión de los mismos a nuevos equipos.
- Paso 3: dibujar e inventariar los cambios hechos en los equipos manipulados desde el sistema de gestión.

- Paso 4: verificar poseer gestión de nuevo equipo así mismo revisar la configuración de sincronía, finalmente dibujar las troncales físicas y virtuales que sean necesarias.
- Paso 5: migración de circuitos, básicamente es la creación de las rutas de los circuitos existentes en los equipos viejos moviéndolos hacia los equipos instalados.
- Paso 6: cambio de E1. Mover las conexiones BNC de los equipos viejos hacia las conexiones BNC de los equipos nuevos, tomando en cuenta que se deben respetar las posiciones asignadas en gestión la momento de migrar los circuitos.
- Paso 7: realizar pasos del 2 al 6 para equipo del sitio II.
- Paso 8: prueba final: esta prueba se realizar si solo si todas las actividades de los anteriores pasos se realizaron con éxito. Se debe realizar las siguientes pruebas: Conmutación de circuitos para comprobar que la protección quede correctamente configurada.
- Paso 9: verificar alarmas.
- Paso 10: actividades finales: una vez concluidos todos los pasos anteriores con éxito, se procede a retirar los equipos antiguos así como todos sus cableados.

Durante el desarrollo de cualquier actividad de migración, que presente problema en el desarrollo, o que no cumpla con el tiempo establecido dentro del cronograma de actividades, o en caso que los circuitos no levanten en los equipos nuevos o presenten degradación en su funcionamiento, se procede a realizar *rollback*, el procedimiento de *rollback* se define a continuación:

- Paso 1: remover conexiones de equipo nuevo y volver a colocarla a sus posiciones originales.
- Paso 2: migrar los circuitos de regreso a sus posiciones originales.
- Paso 3: realizar paso 1 y paso 2 al sitio II.
- Paso 4: verificar desde gestión que todos los circuitos estén funcionando de manera correcta.

De no ser necesario el procedimiento de *rollback*, se puede concluir la migración a nivel lógico, y físicamente procedemos a etiquetar las conexiones.

### **5.3. Protocolos de aceptación**

Las pruebas de aceptación del proyecto se realizan mediante los lineamientos marcados por el documento del ATP (Acceptance Test Protocol), el ATP se corre para cada sitio y revisar ciertos aspectos de instalación así realizar las siguientes pruebas:

- Pruebas de fuerza y energía: prueba realizada para comprobar funcionamiento de *breakers* tanto principal como secundario.

Tabla XVII. **Pruebas de fuerza y energía**

Concepto	Resultado				Observaciones
	O.K	CM	CG	CC	
Breaker principal	<input type="checkbox"/>				
Breakers secundario	<input type="checkbox"/>				

Fuente: Registros ISO STG de Guatemala, documento estudio de sitio. p. 2.

- Pruebas de conexión STM-N: prueba realizada para comprobar conexiones ópticas hacia equipos como también su protección.

Tabla XIX. **Pruebas interconexión STM-N**

Concepto	Resultado				Observaciones
	O.K	CM	CG	CC	
Prueba de conectividad	<input type="checkbox"/>				
Prueba de protección MSP1+1	<input type="checkbox"/>				

Fuente: Registros ISO STG de Guatemala, documento estudio de sitio. p. 2.

- Verificación de instalación eléctrica: la última verificación que se realiza a una nueva instalación es de la energía eléctrica y se realiza a sistema principal de alimentación, así como a su protección.

Tabla XX. Verificación de instalación eléctrica

Concepto	Resultado				Observaciones
	O.K	CM	CG	CC	
Instalación de fuente primaria	<input type="checkbox"/>				
Instalación de fuente secundaria	<input type="checkbox"/>				
Instalación de cable de tierra	<input type="checkbox"/>				

Fuente: Registros ISO STG de Guatemala, documento estudio de sitio. p. 3.

- Verificación instalación equipo: esta parte del documento consta básicamente en verificar que se cumpla el estándar de instalación definido por el cliente.

Tabla XXI. Verificación de instalación física

Concepto	Resultado				Observaciones
	O.K	CM	CG	CC	
Instalación de cables de F.O. para STM-N	<input type="checkbox"/>				
Instalación de equipo a rack existente.	<input type="checkbox"/>				
Instalación de regletas a rack existente.	<input type="checkbox"/>				
Instalación de conectores BNC.	<input type="checkbox"/>				
Instalación de tubo corrugado.	<input type="checkbox"/>				

Fuente: Registros ISO STG de Guatemala, documento estudio de sitio. p. 3.

- Aceptación cliente: por último se tiene un recuadro en el cual se registra los nombres y firmas del personal involucrado en la revisión de la instalación.

Tabla XXII. **Aceptación por parte del cliente**

<b>PERSONAL</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>
Supervisor asignado por cliente		
Firma del ing. asignado por cliente		
Supervisor asignado por instalador		
Ingeniero asignado por instalador		
Fecha de aceptación de sitio		

Fuente: Registros ISO STG de Guatemala, documento estudio de sitio. p. 4.

Los resultados que se pueden obtener de estas pruebas, se pueden observar en la tabla XXIII.

Tabla XXIII. **Criterios de evaluación**

<b>Resultado</b>	<b>Interpretación</b>
OK	Aceptado
CM	Caso Menor
CG	Caso grave
CC	Caso critico

Fuente: elaboración propia.

Si en cualquier aspecto evaluado se obtiene un resultado contrario al OK, se deben realizar las correcciones que el cliente crea necesarias hasta la obtención de la aceptación por parte del cliente.

Al terminar todos los procedimientos descritos en los capítulos 4 y 5, en todos los sitios correspondiente al proyecto, y teniendo el documento de ATP firmado, se puede dar por concluida la implementación de la nueva tecnología y los equipos poseen la capacidad para el transporte del tráfico actual y nuevos servicios.

## CONCLUSIONES

1. En el campo de la tecnología de las telecomunicaciones, la multiplexación de señales ha sido uno de los más grandes logros, ya sea la misma por multiplexación de frecuencia o tiempo, puesto que ayuda a optimizar el uso del canal de transmisión, ya que se puede transmitir más de una señal sobre el mismo.
2. Dentro de las diferentes estructuras de topología de red se puede concluir que la mejor aplicación dentro de las telecomunicaciones es la topología de anillo, debido a que ésta representa la menor inversión de recursos para su construcción, en otras palabras es fácil de instalar y reconfigurar.
3. Dentro de una red de SDH los Cross-conectores son elementos, los cuales permiten darle flexibilidad a la red, ya que se puede realizar conexiones virtuales entre cualquier tipo de tráfico, en otras palabras se puede bajar, subir o conectar tráfico hacia cualquier punto de la red
4. La caracterización de fibra se realiza en instalaciones en las cuales se trabaja con tecnologías de alta velocidad, dado que para estos sistemas se necesita la menor pérdida ocasionada por el medio, y de esta forma poder garantizar una calidad óptima del servicio.
5. Mediante la utilización de equipos de tecnología de transmisión de multiplexación por división de longitud de onda (WDM), se ha conseguido un incremento sustancial en la capacidad de transmisión, basadas principalmente en la optimización del uso de la fibra óptica.



## RECOMENDACIONES

1. La caracterización de fibra se realiza únicamente en la instalación de equipos de tecnologías de alta velocidad específicamente DWDM, pero idealmente se deben realizar estas mediciones también, para redes SDH, ya que éstas ayudan a determinar aspectos importantes que en el futuro puedan representar problemas de comunicación.
2. Antes de realizar la implementación de nuevos equipos siempre se debe evaluar el impacto que causará el mismo hacia la población, para determinar si proporciona las ventajas suficientes para poderlo realizar.
3. Cada vez que se realice una conexión física entre equipos en un sitio, se debe realizar el etiquetado en ambos extremos de la conexión, este etiquetado debe contener en ambos extremos de manera clara y específica, el origen del equipo, como también el destino de la conexión. Esto con la finalidad de que cualquier persona pueda localizar la conexión de manera fácil y rápida.
4. Dentro de cualquier implementación de equipo, así como migraciones de servicios, siempre se debe apegar a los documentos que marcan los lineamientos a cumplir (ingeniería, SMOP, etc.), así de esta forma garantizar que las pruebas de aceptación se realicen sin ningún inconveniente.

5. Los diseños de las redes se deben hacer siempre pensando en sistemas que permitan realizar crecimientos de la manera más fácil, rápida y segura.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGRAWAL, Govind P. *Fiber-Optic Communication Systems*. New York, USA: 2002. 400 p.
2. ARES, Roberto. *Manual de las infotelecomunicaciones*. Argentina: s.e., 2000. 90 p.
3. *Equipos de medición ópticos*. [en línea] [ref. 28 de febrero de 2011]  
Disponible en Web: [www.agilent.com](http://www.agilent.com).
4. *Fiber characterization certified*. [en línea] [ref. 30 de junio de 2011]  
Disponible en Web: [www.fibercharacterization.com](http://www.fibercharacterization.com).
5. *Fibra óptica* [en línea] [ref. 10 de marzo de 2011] Disponible en Web:  
[www.wikipedia.org/wiki/Fibra\\_%C3%B3ptica](http://www.wikipedia.org/wiki/Fibra_%C3%B3ptica).
6. Fujitsu Network Communications Inc. *DWDM TUTORIAL*. Telecom Parkway. Richardson, Texas, 2004. 120 p.
7. NETTEST GN, *Manual: Understanding OTDRs Part #33881 Rev. A*. Dinamarca. Febrero 2000. 49 p.

8. *Optical Spectrum Analyzer, Analyze it all: WDM. EDFA.* [en línea] [ref. 28 de febrero de 2011] Disponible en Web: [www.exfo.com/FTB-5240S/BP](http://www.exfo.com/FTB-5240S/BP).
9. *Recomendación ITU -- G 671 (10/02) SERIE G: Características de transmisión de componentes ópticos y subsistemas.* Estados Unidos, Publicaciones ITU. 2002 10 p.
10. RODRÍGUEZ, Senia A. *Monografía Jerarquías Digitales PDH y SDH.* Santiago de Chile, Facultad de Eléctrica ISPJAE. 2010. 32 p.
11. STERLING DONAL. *Technician's Guide To FIBER OPTICS, 2a.* Estados Unidos: Delmar. 1993. 255 p.
12. TELLABS. *Tellabs 6325/ 6340 FP4.0 / 6345 / 6350 Nodes in Tellabs 8100 System. Manual training course.* Rev 2011-2-34. Chicago USA. 2006. 55 p.
13. Unión Internacional de Telecomunicaciones. *Recomendaciones del Sector de Telecomunicaciones de la UIT. Informes de Conferencias de Desarrollo y Conferencias Plenipotenciarias de la UIT.* Ginebra, Suiza: 2003. 45 p.
14. TELNET, *Dispersión Cromática y PMD: Fibra óptica para NGN.* Mexico D.F. Rev. Noviembre 2009. 4 p
15. VIVEK, ALWAYN. *Optical Network Design and Implementation.* 3ª ed. Estados Unidos: CISCO PRESS, 2004. 840 p. ISBN:1-58705-105-2.