



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

**ADECUACIÓN DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA SDH, PARA  
SOPORTAR LA NUEVA GENERACIÓN SDH**

**Fernando Antonio Figueroa Aguilar**

Asesorado por el Ing. Romeo Neftalí López Orozco

Guatemala, septiembre de 2008



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ADECUACIÓN DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA SDH, PARA  
SOPORTAR LA NUEVA GENERACIÓN SDH.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**FERNANDO ANTONIO FIGUEROA AGUILAR**

ASESORADO POR EL ING. ROMEO NEFTALÍ LÓPEZ OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2008

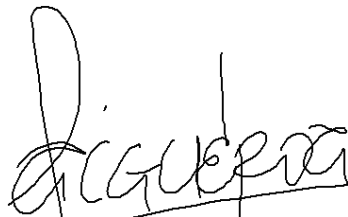


## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **ADECUACIÓN DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA SDH, PARA SOPORTAR LA NUEVA GENERACIÓN SDH,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 18 de mayo de 2005.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'F. Figueroa', written over a horizontal line.

Fernando Antonio Figueroa Aguilar



Guatemala 25 de Julio de 2008.

Ingeniero  
Julio César Solares Peñate  
Coordinador Área de Electrónica  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Solares:

En forma atenta hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación titulado: **"Adecuación de una red de fibra óptica SDH para soportar la nueva generación SDH"**, desarrollado por el estudiante **Fernando Antonio Figueroa Aguilar** y concluyo que el trabajo cumple con los objetivos propuestos.

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

Atentamente.



Ing. Romeo Nefalí López Orozco  
Colegiado No. 3364







**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Títulos  
y Regional de Post-gradúo de Ingeniería  
Sustentada.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Guatemala

Guatemala, 01 de agosto de 2008

Señor Director  
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado:  
"ADECUACION DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA SDH PARA SOPORTAR LA NUEVA GENERACION  
SDH", desarrollado por el estudiante Fernando Antonio Figueroa Aguilar, ya que considero que  
cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
Ing. Julio César Solares Peñate  
Coordinador de Electrónica



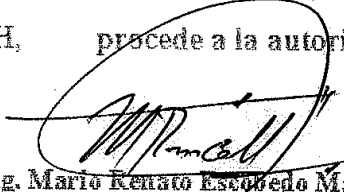


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

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; Fernando Antonio Figueroa Aguilar, titulado: ADECUACIÓN DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA SDH PARA SOPORTAR LA NUEVA GENERACIÓN SDH, procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Mario Renato Espinosa Martínez

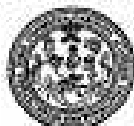
DIRECTOR



GUATEMALA, 14 DE AGOSTO 2,008.



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.297.08

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 y Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **ADECUACIÓN DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA SDH, PARA SOPORTAR LA NUEVA GENERACIÓN SDH** presentado por el universitario **FERNANDO ANTONIO FIGUEROA AGUILAR** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

  
Inga Glenda Garcia Soria  
Decana de Funciones



Guatemala, septiembre de 2008

/cc  
cc. archivo



## **DEDICATORIA A:**

<b>Mis padres</b>	Antonio Figueroa y Sandra de Figueroa
<b>Mi abuelita</b>	Clara de Aguilar
<b>Mi abuelo</b>	Rubén Figueroa
<b>Mis hermanas</b>	Victoria y Sandra
<b>La familia</b>	Jerez Figueroa
<b>Mi asesor</b>	Ing. Romeo Neftalí López Orozco.





## **AGRADECIMIENTOS A:**

Dios por la vida y permitirme culminar mis estudios universitarios.

Todos mis amigos que me acompañaron y apoyaron durante el mis estudios en la Facultad.

Pahola, por su ayuda y motivación para la realización de este trabajo de graduación.

Las personas que me han brindado su amistad y me han apoyado durante mi vida estudiantil.



# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS.....</b>	<b>IX</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XIII</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XVII</b>
<b>1. REDES DE FIBRA ÓPTICA .....</b>	<b>1</b>
1.1 Reflexión y refracción .....	1
1.2 Reflexión interna total .....	3
1.3 Guías de onda.....	4
1.4 Fibra óptica.....	5
1.4.1. Composición de la fibra óptica .....	6
1.4.2. Tipos de fibras ópticas .....	7
1.4.2.1. Fibras multimodo .....	8
1.4.2.2. Fibras monomodo .....	10
1.4.3. Ancho de banda de la fibra.....	11
1.4.3.1. Dispersión modal.....	12
1.4.3.2. Dispersión cromática .....	12
1.5 Componentes de una red óptica.....	13
1.5.1. Empalme.....	13
1.5.2. Bandeja de empalmes.....	14
1.5.3. Caja de empalmes .....	14

1.5.4.	Paneles de conexión .....	14
1.5.5.	Cordones de conexión y latiguillos .....	15
1.5.6.	Conectores.....	15
1.6	Topologías de una red de fibra óptica.....	16
1.6.1.	Topologías lógicas .....	17
1.6.2.	Topologías físicas .....	18
<b>2.</b>	<b>PROTOCOLOS DE TRANSMISIÓN SDH Y ETHERNET.....</b>	<b>19</b>
2.1	Modelo OSI .....	19
2.1.1.	Capa física .....	19
2.1.2.	Capa de enlace de datos .....	20
2.1.3.	Capa de red .....	20
2.1.4.	Capa de transporte .....	20
2.1.5.	Capa de sesión .....	21
2.1.6.	Capa de presentación .....	21
2.1.7.	Capa de aplicación.....	21
2.2	Protocolo SDH .....	22
2.3	Funcionamiento del SDH .....	23
2.5	Tecnología <i>Ethernet</i> .....	30
2.6	Funcionamiento de <i>Ethernet</i> .....	31
2.7	Diferencias entre SDH y <i>Ethernet</i> .....	33
<b>3.</b>	<b>PROTOCOLO SDH DE NUEVA GENERACIÓN.....</b>	<b>37</b>
3.1	Descripción del protocolo SDH de nueva generación. ....	37
3.2	Funcionamiento de la SDH de nueva generación.....	39
3.2.1.	Mapeo – des mapeo .....	41
3.2.2.	Clasificación de tráfico .....	44

3.3	Requerimientos.....	45
3.4	Diferencias y ventajas de la SDH nueva generación sobre SDH tradicional.....	47
<b>4.</b>	<b>ADECUACIÓN DE LA RED .....</b>	<b>51</b>
4.1	Estado actual de la red de una empresa nacional de transporte de datos que utiliza el protocolo SDH .....	51
4.1.1.	Fibra utilizada .....	51
4.1.2.	Distribución de nodos.....	52
4.1.3.	Capacidad de la red .....	52
4.2	Identificación de puntos críticos en la red .....	52
4.3	Mediciones de las pérdidas .....	53
4.3.1.	Pérdidas inherentes a la fibra .....	53
4.3.2.	Pérdidas por empalme.....	55
4.3.3.	Pérdidas en conectores .....	56
4.3.4.	Pérdidas por retorno .....	58
4.3.5.	Pérdidas por causas varias .....	58
4.3.6.	Equipos de medición .....	59
4.3.6.1.	OTDR .....	59
4.3.6.2.	Medidores de potencia.....	60
4.3.6.3.	Lámpara óptica .....	62
4.3.7.	Delimitación de tramo a evaluar.....	62
4.3.8.	Toma y evaluación de mediciones.....	63
4.4	Implementación de soluciones .....	68
4.4.1.	Elaboración de procedimiento para adecuación de la red....	68
4.4.2.	Aplicación del procedimiento.....	73
4.4.3.	Resultados obtenidos al aplicar el procedimiento .....	78

**CONCLUSIONES .....89**  
**RECOMENDACIONES.....91**  
**BIBLIOGRAFÍA .....93**

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Ley de Snell. ....	2
2. Reflexión interna total.....	4
3. Composición de una fibra óptica. ....	6
4. Fibra multimodo índice escalón.....	9
5. Fibra multimodo índice gradual.....	10
6. Fibra monomodo. ....	11
7. Tipos de conectores de fibra óptica.....	16
8. Topologías de red. ....	18
9. Tipos de tráfico que se puede transportar sobre SDH.....	23
10. Estructura de contenedores virtuales.....	26
11. Trama de módulo STM 1. ....	27
12. Multiplexación SDH. ....	27
13. Tasa de transmisión STM-1, vista en el tiempo. ....	28
14. Composición de la trama <i>Ethernet</i> . ....	31
15. Procesamiento de tráfico <i>Ethernet</i> . ....	40
16. Puertos serie ETH sobre SDH.....	41
17. Construcción de un VC SDH a través de una troncal ETH.....	44
18. Anillo SDH convencional STM 4.....	49
19. Anillo nuevo SDH STM 4.....	49
20. Ventanas de operación en una fibra óptica G-652. ....	54

21. Tipos de acople de conectores.....	57
22. Gráfica de medición de fibra óptica uno. ....	64
23. Gráfica de medición de fibra óptica dos.....	65
24. Gráfica de medición de fibra óptica tres. ....	66
25. Gráfica de medición de fibra óptica cuatro.....	67
26. Gráfica de medición de fibra óptica uno, después de aplicado el procedimiento. ....	78
27. Gráfica de medición de fibra óptica dos, después de aplicado el procedimiento. ....	80
28. Gráfica de medición de fibra óptica tres, después de aplicado el procedimiento. ....	81
29. Gráfica de medición de fibra óptica cuatro, después de aplicado el procedimiento. ....	83
30. Gráfica de comparación del hilo de fibra número uno, antes de aplicar el procedimiento y el hilo de fibra número uno, después de aplicado el procedimiento. ....	84
31. Gráfica de comparación del hilo de fibra número dos, antes de aplicar el procedimiento y el hilo de fibra número dos, después de aplicado el procedimiento. ....	85
32. Gráfica de comparación del hilo de fibra número tres, antes de aplicar el procedimiento y el hilo de fibra número tres, después de aplicado el procedimiento. ....	86
33. Gráfica de comparación del hilo de fibra número cuatro, antes de aplicar el procedimiento y el hilo de fibra número cuatro, después de aplicado el procedimiento. ....	87



## TABLAS

I.	Diámetros comunes de una fibra óptica y su protección.....	7
II.	Comparación SDH/ <i>Ethernet</i> .....	36
III.	Eventos resultantes de la medición de la fibra óptica uno. ....	64
IV.	Eventos resultantes de la medición de la fibra óptica dos.....	65
V.	Eventos resultantes de la medición de la fibra óptica tres. ....	66
VI.	Eventos resultantes de la medición de la fibra óptica cuatro.....	67
VII.	Datos ordenados y agrupados.....	77
VIII.	Eventos resultantes de la medición de la fibra óptica uno, después de aplicado el procedimiento.....	79
IX.	Eventos resultantes de la medición de la fibra óptica dos, después de aplicado el procedimiento. ....	80
X.	Eventos resultantes de la medición de la fibra óptica tres, después de aplicado el procedimiento. ....	82
XI.	Eventos resultantes de la medición de la fibra óptica cuatro, después de aplicado el procedimiento. ....	83



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>
<b>dB</b>	Decibelio
<b>DSL</b>	Suscriptor de Línea Digital
<b>Mbps</b>	Megabit por segundo
<b>Gbps</b>	Gigabit por segundo
<b>SDH</b>	Jerarquía Digital Síncrona
<b>PDH</b>	Jerarquía Digital Plesiócrona
<b>ITU</b>	Unión Internacional de Telecomunicaciones
<b>MAN</b>	Red de Área Metropolitana
<b>LAN</b>	Red de Área Local
<b>TDM</b>	Multiplexación por división de tiempo
<b>WDM</b>	Multiplexación por longitud de onda
<b>OTDR</b>	Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo
<b>VC</b>	Contenedor Virtual
<b>ETH</b>	<i>Ethernet</i>
<b>ADSS</b>	Cable autoportado
<b>ns</b>	Nanosegundo
<b>%</b>	Porcentaje
<b>Km</b>	Kilómetro
<b>nm</b>	Nanómetro
<b>CCITT</b>	Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico
<b>OSI</b>	Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos

<b>ISO</b>	Organización Internacional para la Estandarización
<b>STM</b>	Módulo de Transporte Síncrono
<b>IP</b>	Protocolo de Internet utilizado para la transmisión de datos
<b>µm</b>	Micrómetro

## GLOSARIO

<b>Ancho de Banda</b>	Rango de frecuencias en el cual se concentra la mayor parte de potencia de la señal. Tasa de transferencia máxima permitida por el sistema y por el medio.
<b>Ethernet</b>	Tecnología más utilizada para la transmisión de datos.
<b>Fibra óptica</b>	Guía de ondas en forma de filamento.
<b>Frecuencia</b>	Número de repeticiones de una onda periódica en un lapso de tiempo.
<b>Longitud de Onda</b>	Distancia existente entre dos crestas o valles consecutivos de una onda.
<b>OTDR</b>	Instrumento óptico – electrónico, utilizado para realizar mediciones sobre la fibra óptica.
<b>SDH</b>	Tecnología utilizada para la transmisión de información de forma sincrónica.
<b>SDH Nueva generación</b>	Tecnología que involucra la transmisión de <i>Ethernet</i> sobre SDH.



## **RESUMEN**

Gran cantidad de equipos de transmisión que se emplean actualmente utilizan tramas SDH. La ITU definió el estándar SDH que especifica velocidades de transmisión desde 155.52 Mbps que constituye un STM-1.

Diseñada para optimizar el tráfico basado en TDM, la tecnología SDH es muy robusta y segura, contiene mecanismos integrados para proveer la mayor disponibilidad de la red. Sin embargo, los anillos de SDH, que son la conexión primaria con la Red de Área Metropolitana, no están diseñados para manejar eficientemente muchos paquetes de datos.

Las limitaciones adicionales en el desempeño son el resultado de las múltiples capas de la MAN, excesivamente complejas de tecnologías, pobremente integradas, las cuales limitan la flexibilidad. Además de estas dificultades, está la inmensa cantidad de tráfico de datos generados en las redes de área local, con conexiones de banda ancha DSL, Redes de Área de Almacenamiento, y memoria temporal local de los ISP. El estrés que estas aplicaciones causan a la infraestructura ponen a los operadores en un riesgo financiero ya que todavía no están listos para entregar los servicios con los niveles de desempeño demandados por el mercado.

La Nueva Generación SDH soporta nuevos servicios como *Ethernet*, Fibre Chanel, ESCON y DVB, además de permitir la entrega de datos a muy alta velocidad y con un gran ancho de banda.

La Nueva Generación SDH requiere, para su funcionamiento, estándares más estrictos que la SDH convencional, por lo que las actuales redes de fibra óptica deberán cumplir con dichos estándares para poder soportar y migrar hacia la nueva SDH.



## **OBJETIVOS**

- **General**

Elaborar un procedimiento para mejorar los parámetros de una red de fibra óptica SDH y prepararla para soportar el protocolo SDH de nueva generación.

- **Específicos**

1. Estudiar las características primordiales de una red de fibra óptica.
2. Conocer las diferentes topologías de una red óptica.
3. Presentar los protocolos SDH de transporte de datos.
4. Mostrar las ventajas de la Nueva Generación SDH sobre SDH actual.
5. Conocer y utilizar los equipos de medición adecuados para la evaluación de la red óptica SDH.
6. Mostrar que al aplicar el procedimiento elaborado, la red óptica queda en óptimas condiciones para el funcionamiento de la nueva generación SDH.



# INTRODUCCIÓN

La tendencia de las comunicaciones es hacia la tecnología *Ethernet*, sin embargo, muchos de los actuales proveedores aún transportan la información sobre la SDH convencional.

Construir una nueva red para transportar los servicios de datos *Ethernet* sería demasiado costoso para las empresas. Un paso intermedio es la utilización de la tecnología utilizada actualmente, con las mejoras que los fabricantes han efectuado para poder transmitir datos *Ethernet*. Con esto se puede utilizar la infraestructura con la que se cuenta, realizando algunas mejoras, lo que provee a las empresas mayor versatilidad en la prestación de servicios.

El presente trabajo brinda un procedimiento, mediante el cual se puede adecuar cualquier red que transporte SDH para que soporte la nueva generación de SDH. Además, se brinda información sobre las diferentes herramientas y equipo utilizado para trabajar con fibra óptica.



# 1. REDES DE FIBRA ÓPTICA

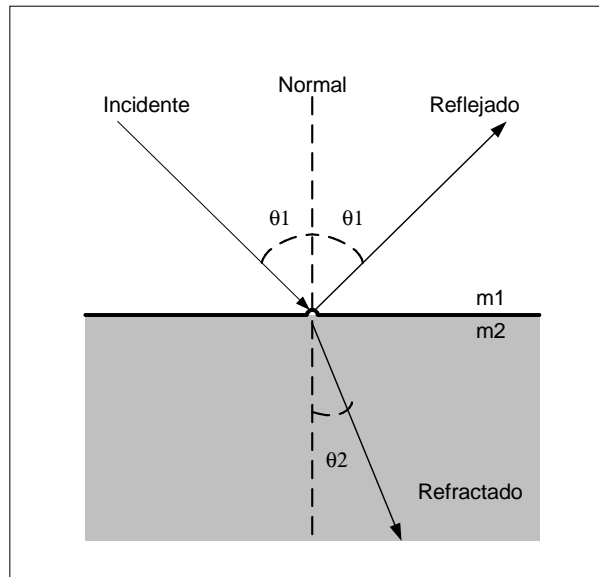
## 1.1 Reflexión y refracción

Cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro diferente, cambia su velocidad y dirección en la frontera que separa ambos medios, a este fenómeno se le conoce como refracción. Además, al cambiar de medio, parte del rayo no entra en el segundo medio, sino que es reflejado de vuelta al primero, con un ángulo igual al del rayo incidente, éste ángulo se mide a partir de la normal al medio. Los ángulos incidente, reflejado y refractado, así como la normal se encuentran en un mismo plano. El ángulo de refracción se encuentra relacionado directamente con las propiedades de los medios y la velocidad del rayo en dichos medios por la *ley de Snell*:

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

Donde  $v_1$  es la velocidad de la luz en el medio 1,  $v_2$  la velocidad de la luz en el medio 2,  $\theta_1$  el ángulo de reflexión e incidencia y  $\theta_2$  el ángulo de refracción.

**Figura 1. Ley de Snell.**



La velocidad de la luz en cualquier medio es menor que la velocidad de la luz en el vacío; aunque su frecuencia no cambia, su longitud de onda sí. De esto se deduce el índice de refracción de cada medio.

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

Donde  $n$  es índice de refracción,  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío y  $v$  es la velocidad de la luz en el medio. Como la relación velocidad es igual a frecuencia por longitud de onda ( $v = f\lambda$ ) debe cumplirse; entonces también deberá cumplirse:

$$v_1 = f\lambda_1 \quad \text{Y} \quad v_2 = f\lambda_2$$

Donde  $\lambda_1$  es la longitud de onda en el medio 1 y  $\lambda_2$  es la longitud de onda en el medio 2 y  $f$  la frecuencia del rayo incidente.

Con estas relaciones podemos escribir la ley de Snell de la forma

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

Donde  $n_1$  es el índice de refracción de medio 1;  $n_2$  el índice de refracción del medio 2;  $\theta_1$  el ángulo de incidencia del rayo y  $\theta_2$  el ángulo de refracción.

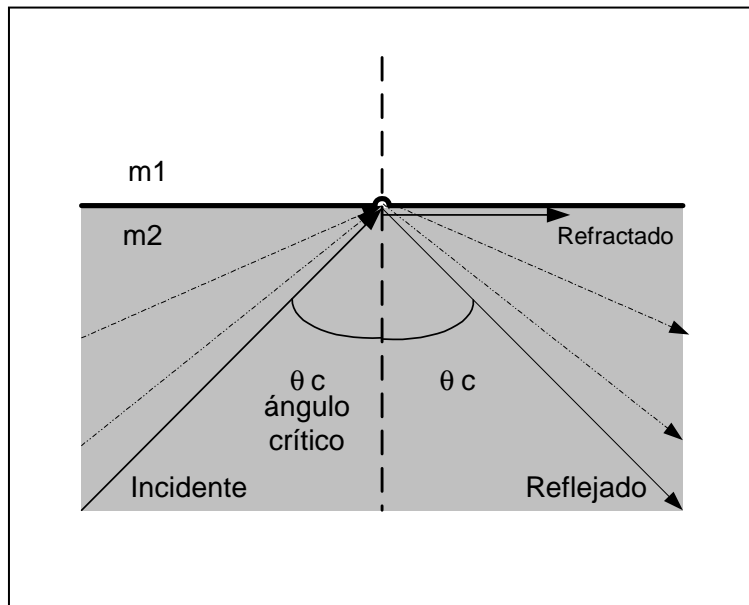
## 1.2 Reflexión interna total

Es un efecto interesante y muy útil que ocurre cuando un rayo de luz con un ángulo determinado intenta moverse de un medio con un índice de refracción cualquiera a un medio con índice de refracción menor. A este ángulo de incidencia se le llama *ángulo crítico* ( $\theta_c$ ) y se encuentra con la ecuación

$$\text{sen} \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (\text{para } n_1 > n_2)$$

Por lo tanto, todos los rayos que incidan con un ángulo mayor que el ángulo crítico, se reflejarán por completo al medio 1.

**Figura 2. Reflexión interna total.**



### 1.3 Guías de onda

Existen varios tipos de líneas de transmisión, un circuito compuesto por un generador y una resistencia puede ser una línea de transmisión de bajas frecuencias, asimismo un tubo rectangular o cilíndrico hueco es una línea de transmisión de altas frecuencias.

¿Cómo es que un tubo hueco de metal puede ser una línea de transmisión si sólo consta de un conductor?



Si se recuerda, la luz es una onda electromagnética que puede viajar a través de un tubo y no necesita de dos conductores para trasladarse de un lugar a otro. Por tal motivo, un tubo hueco puede ser una guía de onda dependiendo de la frecuencia de la onda que se transmita.

Entre las guías de onda de altas frecuencias se encuentran:

- Rectangular.
- Cilíndrica.
- Cuadrada.
- Elíptica.
- De fibra dieléctrica.

Siendo estas últimas las que se exponen en este trabajo de graduación.

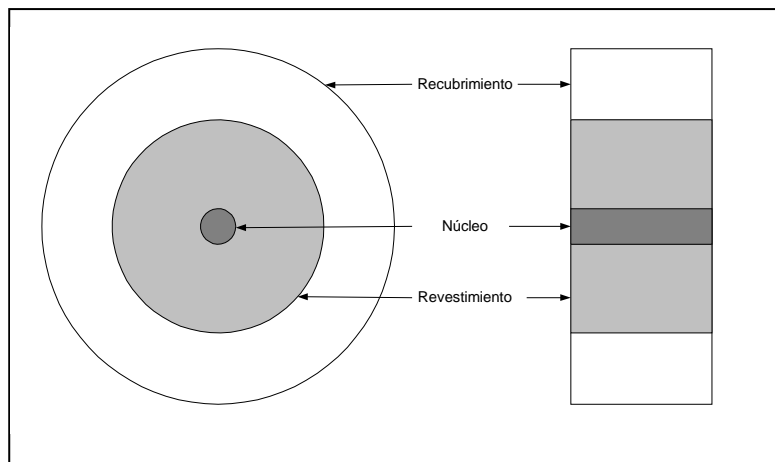
#### **1.4 Fibra óptica**

La fibra óptica es una guía de onda que es utilizada para transportar un rayo de luz portador de información de un punto a otro. Utiliza la reflexión interna total para guiar el rayo de luz a través de sus paredes, incluso alrededor de curvas suaves.

### 1.4.1. Composición de la fibra óptica

La fibra óptica está compuesta de tres capas diferentes: el núcleo central que lleva la luz, el revestimiento que cubre el núcleo y confina la luz dentro de él, y el recubrimiento que da protección al revestimiento. Tanto el núcleo como el revestimiento son de sílice, con ligeras diferencias en su composición debido al boro o germanio que se utilizan para alterar el índice de refracción del sílice. El recubrimiento, que es de un material plástico o acrílico, está normalmente coloreado utilizando códigos de color que facilitan la identificación de la fibra óptica.

**Figura 3. Composición de una fibra óptica.**



Las fibras ópticas que se utilizan en telecomunicaciones se producen en cinco grupos principales como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla I. Diámetros comunes de una fibra óptica y su protección**

	<b>Núcleo</b>	<b>Revestimiento</b>	<b>Recubrimiento</b>	<b>Tubo o protección</b>
I	8 a 10	125	250 o 500	900 o 2000
II	50	125	250 o 500	900 o 2000
III	62.5	125	250 o 500	900 o 2000
IV	85	125	250 o 500	900 o 2000
V	100	125	250 o 500	900 o 2000

Las fibras que tienen núcleo de 8 a 10/125  $\mu\text{m}$  se conoce como fibra monomodo, puede propagar la mayor tasa de datos y tiene la atenuación más baja. La fibra cuyo tamaño de núcleo es 50/125  $\mu\text{m}$  fue la primera fibra de telecomunicaciones, de todas la fibras multimodo, es la que tiene el mayor ancho de banda potencial. La fibra de diámetros 625/125  $\mu\text{m}$  es la más popular para transmisión multimodo, tiene un ancho de banda menor que el de la fibra 50/125, pero es menos susceptible a pérdidas por micro curvaturas. Fibras con núcleo 80/125  $\mu\text{m}$  son utilizadas en Europa.

Por último las fibras multimodo de mayor diámetro son las de 100/140  $\mu\text{m}$ , éstas fibras son de fácil conexión; menos sensibles a tolerancias del conector; acumula mayor cantidad de luz, pero tienen un ancho de banda significativamente reducido.

#### **1.4.2. Tipos de fibras ópticas**

Dependiendo de sus características, las fibras ópticas se pueden clasificar en dos: multimodo y monomodo.

### 1.4.2.1. Fibras multimodo

En este tipo de fibras se puede propagar más de un modo de luz. El número de modos que puede existir se puede determinar por la expresión matemática:

$$M = 1 + \frac{2D\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{\lambda}$$

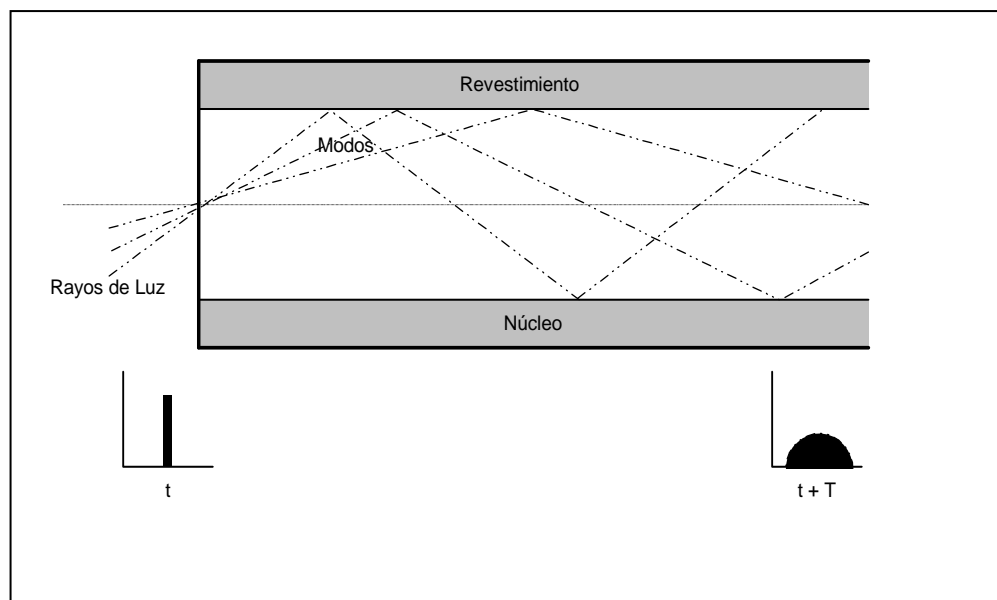
Donde  $M$  es la cantidad de modos,  $D$  el diámetro del núcleo,  $n_1$  el índice de refracción del núcleo,  $n_2$  el índice de refracción del revestimiento y  $\lambda$  la longitud de onda de la luz.

La fibra multimodo a su vez se subdivide en:

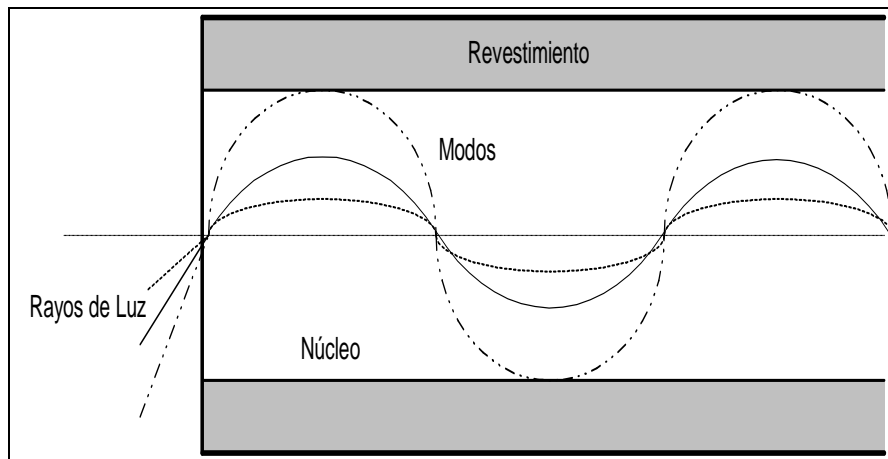
- **Fibra de índice escalón.** Esta fibra tiene índices de refracción de núcleo y revestimiento diferentes pero uniformes. Los rayos de luz viajan por caminos muy diferentes dentro del núcleo; debido a la distancia que viaja cada rayo, llegan a su destino en diferente tiempo, lo que provoca un ensanchamiento del pulso transmitido; a esto se le conoce como *dispersión modal*. La dispersión modal restringe la velocidad de transmisión de datos, debido a que ésta es inversamente proporcional al ancho de pulso. Así un pulso más ancho significa que se envíen menos pulsos por segundo, por tanto el ancho de banda de la fibra óptica se disminuye.

- **Fibra de índice gradual** En este tipo de fibras, el núcleo está compuesto de un índice de refracción gradual que decrece desde el centro hasta el exterior. De esta manera se consigue que el rayo de luz, descompuesto en varios modos, viaje en el centro del núcleo despacio y en los extremos rápido. Con esto se consigue reducir el ensanchamiento de pulso, sin embargo, el ancho de banda sigue siendo limitado.

**Figura 4. Fibra multimodo índice escalón.**



**Figura 5. Fibra multimodo índice gradual.**

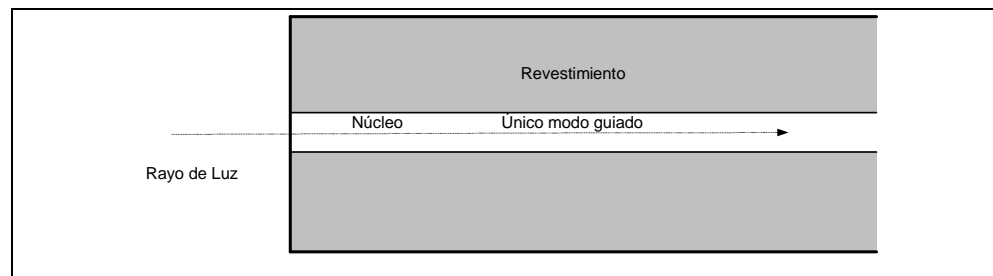


#### **1.4.2.2. Fibras monomodo**

Una fibra monomodo es una fibra óptica en la que solamente existe un modo de propagación de luz. Esto se logra reduciendo el diámetro del núcleo hasta un tamaño que sólo permita un modo. La estructura de una fibra monomodo es similar a la de una multimodo de índice escalón.

Al eliminar los modos, se elimina también el ensanchamiento del pulso debido a la dispersión modal, lo que permite velocidades de transmisión considerablemente mayores a las alcanzadas con una fibra multimodo y distancias también mayores.

**Figura 6. Fibra monomodo.**



### **1.4.3. Ancho de banda de la fibra**

El ancho de banda de una fibra es una medida de su capacidad de transmisión de información. Se ve afectado por la dispersión total de la fibra, porque la dispersión total distorsiona y ensancha los pulsos provocando que se solapen unos con otros haciéndolos indistinguibles para el equipo receptor.

La dispersión es una función de la longitud de la fibra, mientras mayor sea la fibra, más pronunciado será el efecto de la dispersión.

La dispersión total puede subdividirse en dos categorías: dispersión modal y dispersión cromática.

#### **1.4.3.1. Dispersión modal**

También conocida como dispersión multimodo, afecta únicamente a las fibras multimodo, y se debe a las múltiples trayectorias que sigue un rayo de luz dentro de la fibra.

#### **1.4.3.2. Dispersión cromática**

Describe la tendencia para diferentes longitudes de onda que viajan a diferentes velocidades en una fibra. En longitudes onda donde la dispersión cromática es alta, los pulsos ópticos tienden a expandirse en el tiempo y provocar interferencia, lo cual puede producir una inaceptable velocidad del bit.

La dispersión cromática se debe a dos situaciones, la dispersión cromática material y la debida a la dispersión de guía-onda.

- Dispersión cromática material. Ocurre porque el índice de refracción de una fibra varía con la longitud de onda de la luz. Y como la luz está compuesta por más de una longitud de onda, éstas viajan a diferentes velocidades, dando como resultado un ensanchamiento en el pulso.
- Dispersión cromática guía-onda. Es debida a la anchura espectral de la fuente de luz, cuando el índice de refracción permanece constante. Este tipo de dispersión es despreciable.



## **1.5 Componentes de una red óptica**

Las redes ópticas están compuestas de varios elementos, como lo son los transmisores, receptores, conectores, ruteadores, etc. A continuación se presentan los elementos de una fibra óptica utilizados en la planta externa, los cuales deben estar en perfectas condiciones para el buen desempeño de la red.

### **1.5.1. Empalme**

Es la técnica que se utiliza para unir permanentemente dos fibras ópticas con una conexión de bajas pérdidas. Se realiza de dos maneras: por fusión y mecánico.

El empalme por fusión proporciona pérdidas más bajas del orden de los 0.05 dB. La empalmadora por fusión alinea con precisión las dos fibras y por medio de un pequeño arco eléctrico suelda las fibras.

El empalme mecánico es una técnica que no requiere de la empalmadora de fusión. Es un conector pequeño de fibra que alinea dos fibras desnudas de manera precisa y las asegura mecánicamente. La pérdida que se consigue con este tipo de empalme es 0.5 dB.

### **1.5.2. Bandeja de empalmes**

Se utilizan para proteger los empalmes individuales, tanto mecánicos como por fusión, están preparadas para almacenar doce fusiones. Existen bandejas de empalmes tanto para cajas de empalme como para paneles de conexión.

### **1.5.3. Caja de empalmes**

Se utilizan para proteger la fibra óptica y los empalmes del entorno. Existen cajas de empalmes tanto para interiores como para exteriores, en nuestro medio a estas últimas se le conocen como *mufas* a estas últimas.

### **1.5.4. Paneles de conexión**

Suministra un punto de acceso a los equipos, pudiéndolos conectar a la fibra mediante cordones de conexión. Permiten una identificación fácil de los hilos de fibra óptica.

Está compuesto de dos partes, una que contiene los adaptadores y la otra parte que se utiliza para almacenar la bandeja de empalmes. El adaptador permite que el conector del cable pueda alinearse con el cordón de conexión generando una unión de bajas pérdidas después de muchas conexiones.

### **1.5.5. Cordones de conexión y latiguillos**

Es una fibra óptica de pequeña longitud con protección ajustada y conectores en ambos extremos. Se utilizan primordialmente para las conexiones entre los equipos ópticos y el panel de conexión.

Si partimos por la mitad un cordón de conexión, cada mitad se convierte en un latiguillo. Se utiliza para terminar el cable de fibra óptica en un conector.

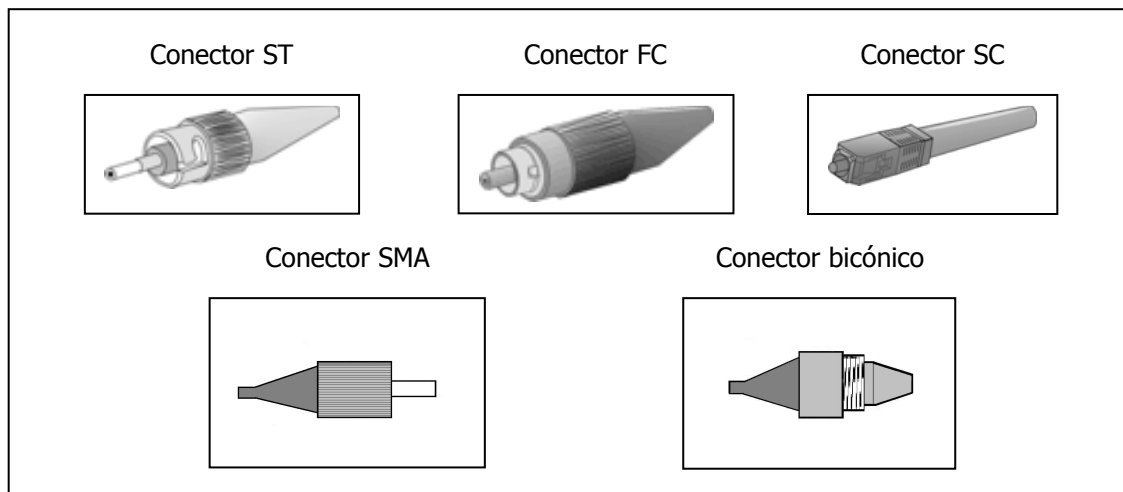
### **1.5.6. Conectores**

Existen diversos tipos de conectores, entre los más habituales podemos mencionar:

- Conectores ST, se utiliza tanto en fibras monomodo como multimodo con pérdidas promedio de 0.5 dB.
- Conectores FC, también conocido como FC-PC, utilizado en fibras monomodo, produce bajas pérdidas del orden del los 0.4 dB.
- Conector bicónico. Se utilizó en los primeros enlaces de fibra óptica, en la actualidad ya no es utilizado.
- Conector SMA. Es un conector antiguo, tiene altas pérdidas alrededor de 0.9 dB.

- Conector D4. Se utiliza principalmente en fibras monomodo.
- Conector SC. Tiene bajas pérdidas y es muy común en la actualidad.

**Figura 7. Tipos de conectores de fibra óptica.**



## 1.6 Topologías de una red de fibra óptica

Las redes de fibra óptica deben ser configuradas para dotar al sistema de la suficiente flexibilidad y versatilidad que permita obtener todos los beneficios de la fibra.

Las topologías de red pueden ser clasificadas como: topologías lógicas y topologías físicas.

### **1.6.1. Topologías lógicas**

Describen el método por el cual los nodos se comunican unos con otros. Las topologías lógicas se dividen en cuatro topologías básicas.

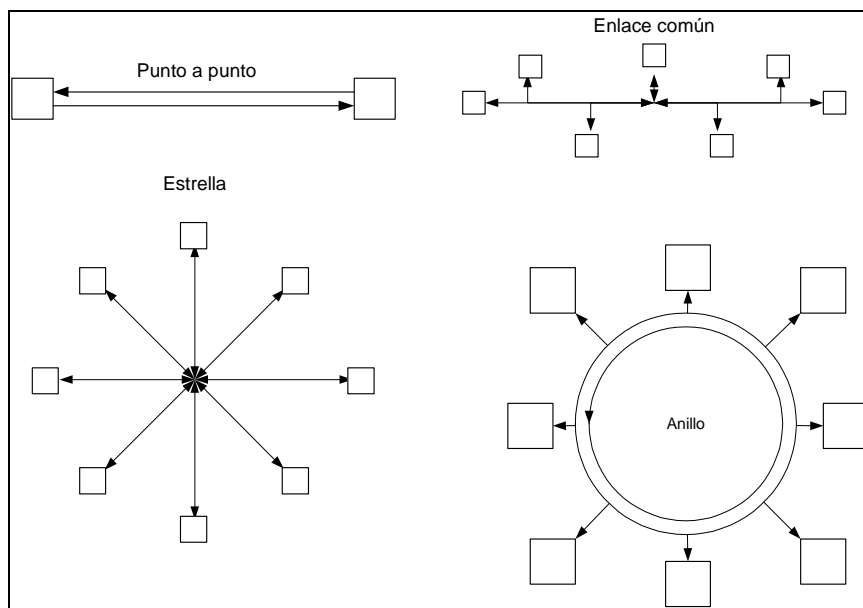
- Lógica punto a punto. Enlaza directamente dos dispositivos entre sí. Los protocolos comunes de comunicación de computadoras utilizan esta topología.
- Lógica en estrella. Configuración de enlaces punto a punto que tienen todos un nodo en común.
- Lógica en enlace común. Todos los dispositivos se conectan a un bus común de transmisión. Se aplica para *Ethernet*.
- Lógica en anillo. Tienen todos los nodos conectados en anillo. Esta topología proporciona autoprotección a la red en caso de que falle algún cable o nodo.

### 1.6.2. Topologías físicas

Las topologías físicas dependen del medio y pueden implementarse con la misma configuración de la topología lógica. Así se tienen también configuraciones físicas punto a punto, estrella, enlace común y en anillo.

La configuración lógica y física que más se utiliza para redes de transporte es la de anillo, debido a que con ella se puede dar redundancia a cualquier parte de la red si fallara algún equipo o la fibra.

**Figura 8. Topologías de red.**



## **2. PROTOCOLOS DE TRANSMISIÓN SDH Y *ETHERNET***

### **2.1 Modelo OSI**

El modelo OSI es la propuesta que realizó la ISO para la estandarizar la interconexión en sistemas abiertos. Un sistema abierto se refiere a que es independiente de una arquitectura específica. El modelo se compone de un conjunto de estándares ISO relativos a las comunicaciones de datos.

El modelo en sí mismo no puede ser considerado una arquitectura, debido a que no especifica el protocolo que debe utilizarse en cada capa. El modelo está dividido en siete capas.

#### **2.1.1. Capa física**

La capa física es la que se encarga de las conexiones físicas de la red. Los estándares especifican niveles de señal, conectores de cable y cable.

La misión principal de esta capa es transmitir bits por un canal de comunicación sin alteración entre emisor y receptor.

En esta capa interviene el protocolo SDH. Su misión es transportar y gestionar gran cantidad de tipo de tráfico diferente sobre la infraestructura física.

### **2.1.2. Capa de enlace de datos**

Tiene que ver con el comienzo de la transmisión del mensaje, la detección y corrección del error y la transmisión final del mensaje. También controla el flujo de información entre nodos; encargándose únicamente de la transmisión de datos.

### **2.1.3. Capa de red**

Decide el encaminamiento de los paquetes entre el origen y el destino. El camino puede establecerse estáticamente o dinámicamente (en función del tráfico de la red) Debe detectar y corregir problemas de congestión de tráfico.

### **2.1.4. Capa de transporte**

Esta capa acepta los datos de la capa de sesión, los divide si es necesario y los pasa a la capa de red asegurándose que lleguen a su destino. Aísla las capas superiores de cambios en el hardware de comunicaciones.



### **2.1.5. Capa de sesión**

Empieza y termina la sesión de la comunicación, transfiere al usuario de una tarea a otra y proporciona recuperación de los problemas de comunicación sin perder datos.

### **2.1.6. Capa de presentación**

Un protocolo de telecomunicaciones debe de ser diseñado para que diferentes versiones y sistemas lo puedan usar, de modo que los datos se deben de tener en un formato definido y documentado. La capa de presentación convierte los datos en sintaxis apropiada para los dispositivos de pantalla, codifica/decodifica datos comprimidos.

### **2.1.7. Capa de aplicación**

Ofrece a las aplicaciones la posibilidad de acceder a los servicios de las demás capas y define los protocolos que utilizarán las aplicaciones para intercambiar datos como correo electrónico, gestores de bases de datos, etc.

Existen diversos protocolos entre los más utilizados y conocidos podemos encontrar:

- HTTP (*Hyper tex transfer protocol*)
- FTP (*File transfer protocol*)

- SMTP (*Simple mail transfer protocol*)
- POP (*Post office protocol*)
- SSH (*Secure SHell*)
- Telnet

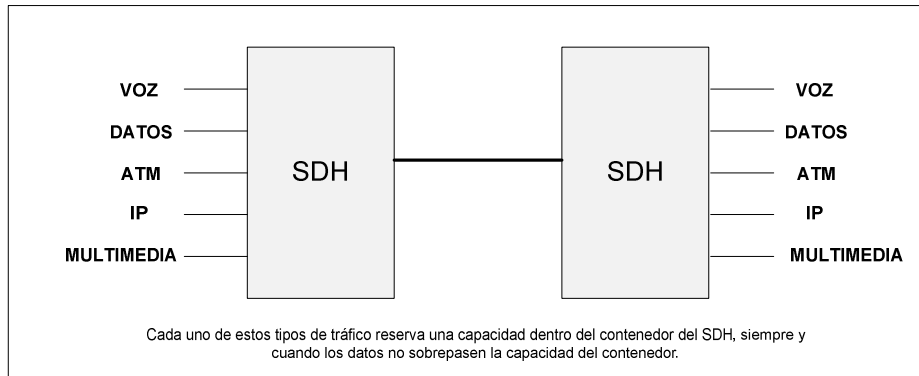
## **2.2 Protocolo SDH**

SDH es un protocolo de transporte, de la capa física del modelo OSI, capa 1, basado en la existencia de una referencia temporal común que multiplexa diferentes señales dentro de una jerarquía común y gestiona su transmisión de forma eficiente a través de redes ópticas, con mecanismos internos de protección.

SDH nace de la necesidad de insertar o extraer canales con facilidad, debido a que con los protocolos pleusíncronos es necesario desmontar y volver a montar la señal para poder insertar o extraer un circuito; además se puede administrar mejor la red.

La figura 9 muestra los tipos de tráfico que se pueden transportar sobre SDH, sin embargo, cada uno de estos tipos, reserva capacidad de transporte, lo que significa que el ancho de banda que sea designado en SDH para un tipo dado, siempre será constante, no importando que el tráfico en un momento dado sea menos denso.

**Figura 9. Tipos de tráfico que se puede transportar sobre SDH.**



### **2.3 Funcionamiento del SDH**

El elemento básico de una señal SDH es un contenedor y se encuentra formado por los bits de una señal PDH. Cada contenedor posee control sobre la información que transporta, esta información adicional es llamada "*Path Overhead*" o cabecera de ruta.

Esta cabecera de ruta es generada en el nodo de origen de la ruta y terminada en el fin de la misma, permite etiquetar el tráfico así como trazar la señal a través de la red e identificarla para propósitos de protección.

El conjunto de contenedor y cabecera de ruta recibe el nombre de contenedor virtual (VC). Existen varios tipos de contenedor virtual dependiendo de la señal a transportar. Un VC-12 es construido por un contenedor C-12, el cual posee una señal PDH de 2 Mbps. Un VC-3 porta un contenedor C-3 que contiene una señal de 34 Mbps y un VC-4 porta una señal PDH de 140 Mbps. Un contenedor virtual puede ser conformado por otros contenedores virtuales de menor tamaño, como ejemplo un VC-4 puede estar conformado por 63 VC-12. Esto hace que se simplifique el transporte y la gestión por la red.

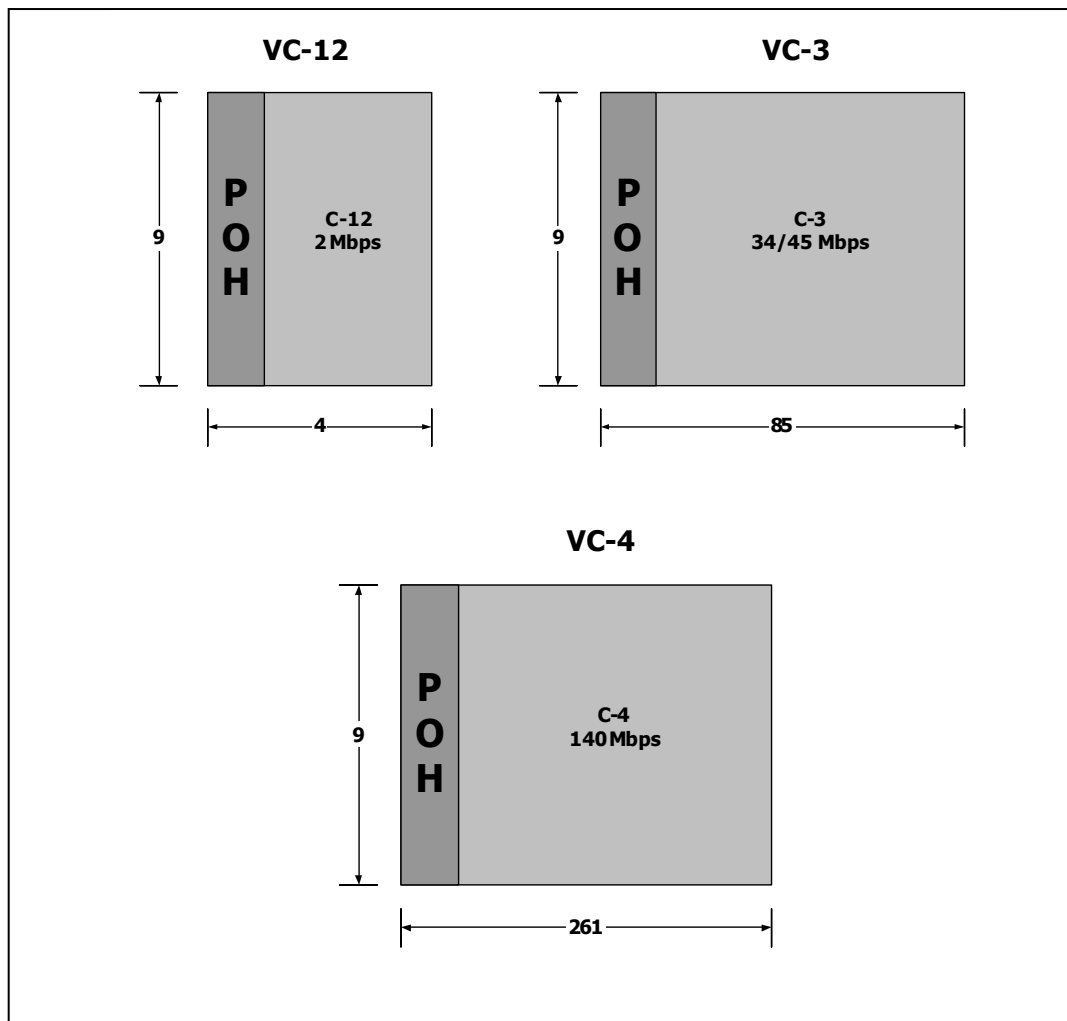
La unidad básica del SDH es el STM-1 (155 Mbps) y se conforma por contenedores virtuales multiplexados para formar el área de carga útil. El STM-1 posee también una cabecera de sección, esto provee de comunicación entre nodos adyacentes habilitando el control de la transmisión sobre el enlace.

Un STM está dedicado únicamente a una sección de la ruta, es decir que un STM es formado en un nodo y enviado al nodo adyacente, posteriormente un nuevo STM, con nuevas cabeceras, es formado y enviado al siguiente nodo adyacente, así sucesivamente hasta llegar al nodo destino. La figura 13 muestra, en una forma sencilla, la tasa de transmisión de un STM-1.

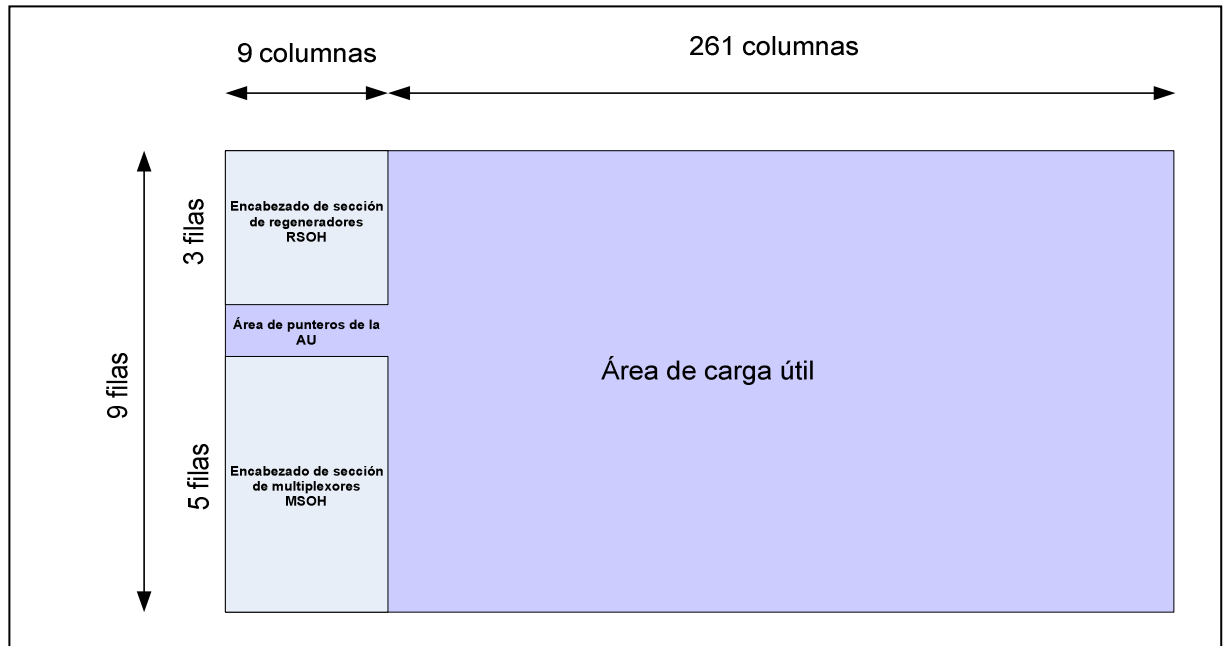
También existen otras tasas de transmisión que se derivan de la unidad básica definidas, mediante un factor de multiplicación por cuatro, de esta forma se obtiene el STM-4 (622 Mbps), STM-16 (2.5 Gbps) y el STM-64 (10 Gbps).

El por qué de estas tasas de transmisión es que, para transportar la información es necesario de poseer fibra óptica de un punto a otro, esta instalación es costosa, por tal motivo se trata de enviar la mayor cantidad de información posible a través de un par de hilos de fibra y esto se logra utilizando una mayor tasa de transmisión.

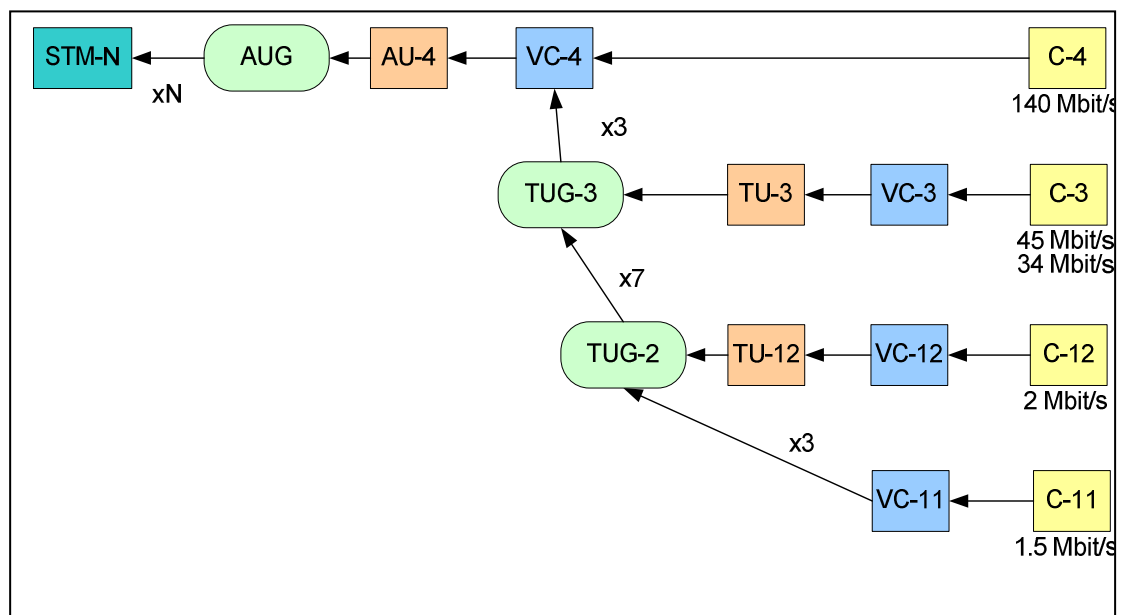
**Figura 10. Estructura de contenedores virtuales.**



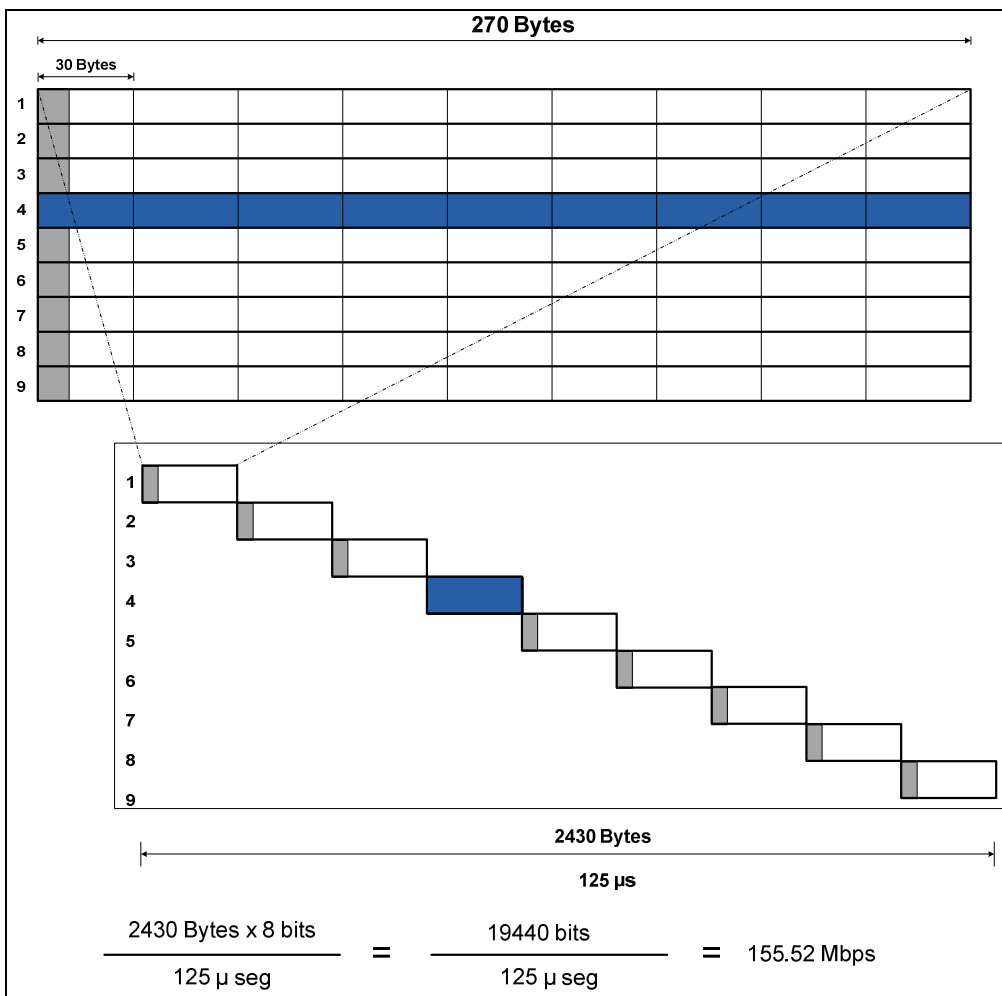
**Figura 11. Trama de módulo STM 1.**



**Figura 12. Multiplexación SDH.**



**Figura 13. Tasa de transmisión STM-1, vista en el tiempo.**



## 2.4 Requerimientos de la red SDH.

El CCITT desarrolló normas para SDH desde 1988, desde entonces, estos estándares se han ido actualizando y la mayoría de ellos permiten la compatibilidad de equipos a nivel de transmisión.



Los estándares clave para el nivel lógico de la interface con el nodo de la red son: G.707 (sobre las tasa de transmisión); G.708 (sobre la estructura de la trama); G.709 (sobre el ensamblado). Los estándares de multiplexado: G.781 – G.783 (operación de multiplexores SDH, sus funciones y especificaciones); G.784 (supervisión del desempeño y control de la red SDH). Y por último, los estándares de línea (que son los que interesan en este trabajo de graduación), G.957 (interfaces ópticas SDH), G.958 (otras características de los sistemas de línea, incluyendo el "jitter").

Las redes, dependiendo de la longitud entre nodos, necesitan de equipos que sean capaces de enviar la suficiente potencia para cubrir la distancia entre ellos sin necesidad de utilizar algún otro equipo adicional. Los equipos de transmisión SDH están diseñados para recorrer una distancia de 50 km a una longitud de onda de 1310 nm sin necesidad de equipo de amplificación. Si se necesita recorrer una distancia mayor o menor, es necesario especificarlo al momento de adquirir los equipos SDH, ya que se debe utilizar una fuente de luz más potente para mayores distancias y de atenuadores de luz distancias relativamente menores.

La red SDH que se estudia en este trabajo de graduación, cuenta con equipos que transmiten a una longitud de onda de 1550 nm, pudiendo recorrer más distancia que la que se recorrería a 1310 nm. Esto se debe principalmente, como se verá en los siguientes capítulos, a las características intrínsecas de la fibra utilizada.

Los niveles de potencia de transmisión y recepción de los equipos SDH, por lo regular se encuentra en un rango de -3 a -1 dB de transmisión y de -8 a -28 dB de recepción. Con estos valores se puede calcular la distancia que se puede recorrer en un enlace tomando en cuenta las pérdidas que existen en el trayecto y la resta de ellos nos provee el valor máximo de pérdidas con el cual el enlace funcionará.

## **2.5 Tecnología *Ethernet*.**

*Ethernet* es una tecnología que trabaja en las capas uno y dos del modelo OSI, (capa física y capa de enlace de datos) También es la tecnología más representativa de las redes de trabajo, para transferencia de datos, predominando sobre Token Ring y FDDI.

*Ethernet* nació en 1973 y del cómo mejorar la red Aloha existente desde 1970. La idea básica de *Ethernet* es muy simple, las estaciones antes de transmitir deberían detectar si el canal ya estaba en uso, en cuyo caso esperarían que la estación activa terminara su transmisión. Además cada estación estaría continuamente vigilando el medio físico por si existiera alguna colisión, si esto ocurriera, se detendría y retransmitiría más tarde. A este protocolo se le conoce como acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones, CSMA/CD por sus siglas en inglés.

*Ethernet* inició con una tasa de transferencia de 2.4 Mbps y en la actualidad alcanza una tasa de 10 Gbit/s.

## 2.6 Funcionamiento de *Ethernet*.

Como se mencionó con anterioridad, *Ethernet* fue diseñada pensando en el transporte de datos, por tal motivo se ha desarrollado para que sea eficiente en ese campo; dejando por un lado el tráfico de voz hasta hace poco tiempo.

*Ethernet* utiliza el protocolo CSMA/CD, para la detección de tráfico en el canal de datos. Debido a que es una tecnología que utiliza las capas uno y dos del modelo OSI, utiliza la sección de MAC de la capa de enlace de datos, para el direccionamiento de los paquetes.

*Ethernet* envía la información por medio de paquetes, a los cuales le agrega cierta información de señalización.

A continuación se muestra gráficamente cómo se compone la trama *Ethernet* de un paquete de datos.

**Figura 14. Composición de la trama *Ethernet*.**

Preámbulo	SOF	Destino	Origen	Tipo	Datos	FCS
7 Bytes	1 Byte	6 Bytes	6 Bytes	2 Bytes	De 46 a 1500 Bytes	4 Bytes

A continuación se describen cada una de las secciones que conforman la trama *Ethernet*.

**Preámbulo:** Secuencia de bits usada para sincronizar y estabilizar el medio físico antes de iniciar la transmisión de datos. El patrón del preámbulo es:

10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010

**SOF (*Start Of Frame*) Inicio de Trama:** Campo de 1 *byte*. Indica que el siguiente bit será el bit más significativo del campo de dirección MAC de destino. El patrón del SOF es: 10101011.

**Dirección de destino:** Campo que especifica la dirección MAC hacia la que se envía la trama. Esta dirección de destino puede ser de una estación, de un grupo *multicast* o la dirección de *broadcast* de la red. Cada estación examina este campo para determinar si debe aceptar el paquete.

**Dirección de origen:** Campo que especifica la dirección MAC desde donde se envía la trama. La estación que deba aceptar el paquete conoce por este campo la dirección de la estación origen con la cual intercambiará datos.

**Tipo:** Campo que identifica el protocolo de red de alto nivel asociado con el paquete o, en su defecto, la longitud del campo de datos. La capa de enlace (modelo OSI) de datos interpreta este campo.

**Datos:** Es la información recibida del nivel de red (la carga útil).

**FCS (*Frame Check Sequence* - *Secuencia de Verificación de Trama*):** Campo que contiene un valor de verificación CRC (Control de redundancia cíclica). El emisor calcula este CRC usando todo el contenido de la trama y el receptor lo re-calcula y lo compara con el recibido a fin de verificar la integridad de la trama.

## **2.7 Diferencias entre SDH y *Ethernet*.**

Como se ha visto en las secciones anteriores, SDH y *Ethernet* fueron concebidos para transporte de voz-datos y transporte de datos respectivamente. Con el paso del tiempo se observó que el crecimiento en el transporte de datos creció más rápidamente que el transporte de voz, adicionalmente la tecnología ha avanzado de tal forma que ahora se puede enviar voz sobre IP utilizando protocolos específicos y tecnología *Ethernet*.

Una de las principales diferencias entre SDH y *Ethernet* se describe a continuación.

La capacidad mínima que puede ser transportada en SDH sin desperdiciar ancho de banda es un E1 (2.048 Mbps), esto se deriva de que SDH fue diseñado para transportar voz.

Según el teorema de Nyquist, "una señal analógica puede ser reconstruida, sin error, de muestras tomadas en iguales intervalos de tiempo. La razón del muestreo debe ser igual o mayor al doble del ancho de banda de la señal analógica."

Debido a que la señal para la que fue diseñada la SDH es la voz, tenemos que:

La voz tiene un ancho de banda de 4 kHz.

Si se tiene en cuenta que se utilizan 8 bits para la digitalización del sonido, tenemos que:

$$f_m = 2 * 4 \text{ KHz} = 8 \text{ kHz}$$

Por lo tanto, para poder transmitir voz digitalizada con 8 bits, se transmiten 64 Kbps. Y un E1 está conformado de 31 canales de datos más uno de señalización, todos ellos de 64 Kbps, lo que hace 2048 Kbps.

Debido a esto, si se quiere transportar sobre SDH, una tasa menor a un E1 de datos, deberá utilizarse esta capacidad (un E1), con lo que se desaprovecha la capacidad de transporte. De la misma forma, si lo que se quiere es transportar sobre SDH 100 Mbps de información, será necesaria la utilización de un STM 1 (155 Mbps) desaprovechando 55 Mbps de espacio en el transporte.

SDH necesita de una fuente externa de sincronía. De esta fuente de sincronía depende el buen desempeño y funcionamiento de la red. La sincronía es el corazón de una red SDH.

Para trasladar la información de un punto a otro, SDH únicamente tiene la posibilidad de hacerlo por dos rutas, utilizando solamente una de ellas y la otra ruta estará de respaldo por si existe un fallo en la ruta principal. Por tal motivo utilizar la topología de red en anillo, ya que es fundamental en SDH.

*Ethernet* por su parte, está diseñada específicamente para el transporte de datos. Los datos son transportados en un tren de pulsos y viajan del origen al destino, utilizando un mismo canal de comunicación. Los datos son enviados si y solo si el canal de comunicación se encuentra desocupado.

Debido a que en el tren de pulsos de *Ethernet* se incluye la información de sincronía, inicio, destino, origen, datos y fin del paquete; no existe dimensionamiento específico para los datos de información, con lo que se consigue mayor versatilidad y aprovechamiento del ancho de banda.

*Ethernet* puede utilizar una topología de red de malla, con lo que se consigue que la información que va de un punto a otro tenga varias rutas para ser transportadas, minimizando el riesgo de perder la información.

**Tabla II. Comparación SDH/ Ethernet**

<b>Criterio</b>	<b>SONET/SDH</b>	<b>Ethernet</b>
Protección redundante	Protección automática. Capacidad de conmutación de 50 ms.  Esquema ajustable para concatenación virtual (LCAS).	Rápido recorrido de árbol de 10 ms a 1 s, dependiendo de la topología de red).  MPLS rápido enrutamiento (<50 ms)
Operación, administración, mantenimiento (OAM)	SONET/SDH OAM.	Enlaces punto a punto bajo norma IEEE 802.3ah y normas ITU Y.17  Servicios punto a punto bajo norma IEEE 802.1ag.
Detección de falla	Sectorización por error/defecto que monitorea e imparte indicaciones remotas.  Vigilancia extrema sobre cruces de umbral.	Detección remota de falla(únicamente 10GigE)
Mantenimiento	Capacidad de Loopback para pruebas "fuera de servicio".	No existe loopback en Ethernet.  Puede obtenerse información del Switch y router a través del monitoreo remoto según norma IEEE 802.3ah (únicamente enlaces punto a punto).
Ingeniería de tráfico	Concatenación Virtual (CV).	Anidado VLAN (VLAN sobre VLAN).
Scalability	Transporta tazas arriba de 40 Gb/s  Granulidad dependiente del nivel de VC (1.5 Mb/s o 2 Mb/s)	Transporta tazas arriba de 10 Gb/s  Granulidad a cualquier tasa.
QoS	Determinístico	Calidad propietario de servicio.
Robustez	99.999% del tiempo  Taza de error (BER) = $10^{-12}$	La mayor parte de tiempo se basa en la protección por redundancia implementada por el propietario de la red.  Taza de error (BER) = $10^{-12}$



### **3. PROTOCOLO SDH DE NUEVA GENERACIÓN**

#### **3.1 Descripción del protocolo SDH de nueva generación.**

Se espera que las redes ópticas adopten un esquema de arquitectura IP sobre WDM mucho más simple, en el cual se eliminen las capas SDH, debido en gran parte al actual predominio de tráfico IP. Evidentemente, dada la inversión actual en tecnología SDH, este proceso sería gradual y comenzaría en las áreas metropolitanas para extenderse posteriormente a los enlaces de largo alcance.

La tecnología SDH está diseñada para tráfico de voz y es bastante costosa en relación con *Ethernet*, que está diseñada para datos. Adicionalmente, resulta compleja y poco flexible en relación con la implantación de nuevos servicios y capacidades. Por lo tanto, está claro que usar conmutadores *Ethernet* en lugar de multiplexores (ADMs) SDH reducirá considerablemente los costos. No obstante, existen diversos obstáculos para la adopción de la tecnología *Ethernet*, siendo el principal de ellos el relacionado con la fiabilidad y disponibilidad de red.

La SDH se diseñó inicialmente para redes troncales, por lo que posee mecanismos de disponibilidad y fiabilidad robustos basados en un alto nivel de redundancia tanto dentro como fuera de los equipos. En especial, las redes SDH proporcionan una disponibilidad del 99,999 %, que equivale a una caída de 5 minutos por año. En cambio, la tecnología *Ethernet* se diseñó principalmente para redes de empresa donde los requisitos de disponibilidad no son tan altos. En la tabla 2 se muestra una comparativa entre SDH y *Ethernet*.

En la actualidad el crecimiento del tráfico en las redes proviene de los datos y no de la voz como era hace algún tiempo. Si a esto se suma que una infraestructura basada en datos (como lo es IP sobre fibra) es muy costosa; nos queda una solución como lo es la adaptación de redes SDH para transportar datos. Este es el motivo por el cual muchas empresas trabajan en la adecuación de sus redes para la SDH de próxima generación.

La SDH de nueva generación agrega tres características principales a la SDH tradicional:

- Integración del transporte de datos.
- Cross-connects integrados de arquitectura no bloqueante y de banda ancha.
- Opcionalmente, inteligencia para el descubrimiento de la topología, cálculo de las rutas, aprovisionamiento automático y restauración basada en mallas (GMPLS).

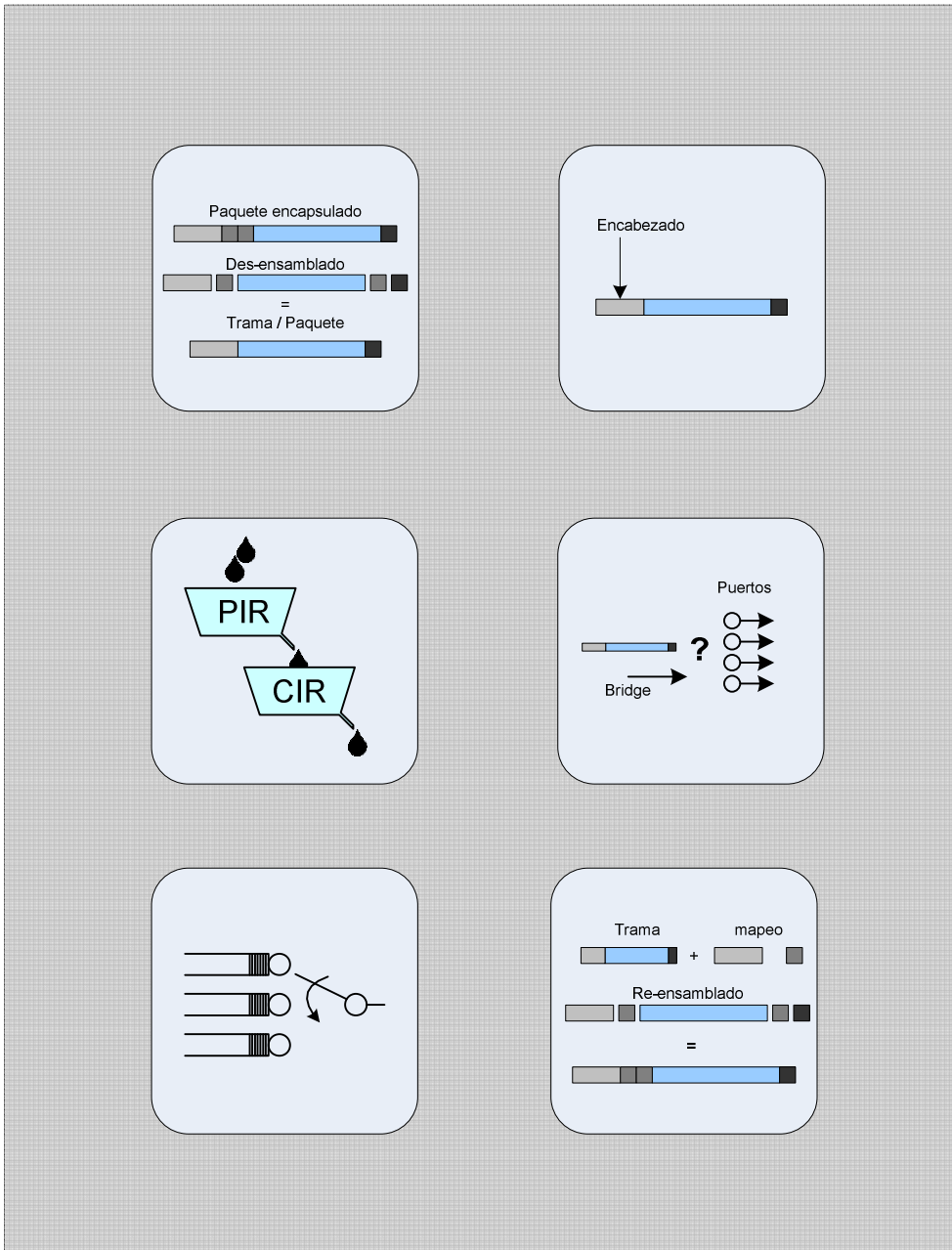
Debido al crecimiento del transporte de datos, la SDH de nueva generación soporta la transmisión de *Ethernet* en sus tramas, esto se debe a la solución EoS que mapea las tramas en un  $n \times VC-12$  (o  $n \times VC-4$ ) mediante nuevas tecnologías de concatenación; lo que significa mayor flexibilidad en el suministro y ajustes del ancho de banda, como puede ser el aumento en el ancho de banda por medio de software o ancho de banda bajo demanda, aprovisionamiento por horario, etc.

### **3.2 Funcionamiento de la SDH de nueva generación.**

La mayor parte del funcionamiento de la SDH de nueva generación se hereda de su predecesora, la SDH convencional, con algunas modificaciones y agregados que la hacen más eficiente y robusta para la transmisión de datos.

Basándose en las normas ITU G.7071, ITU G.7042 e ITU G.707, el procesamiento para incluir el tráfico *Ethernet* en la SDH se puede describir en 5 pasos, según se muestra en la figura 15.

**Figura 15. Procesamiento de tráfico *Ethernet*.**



### 3.2.1. Mapeo – des mapeo

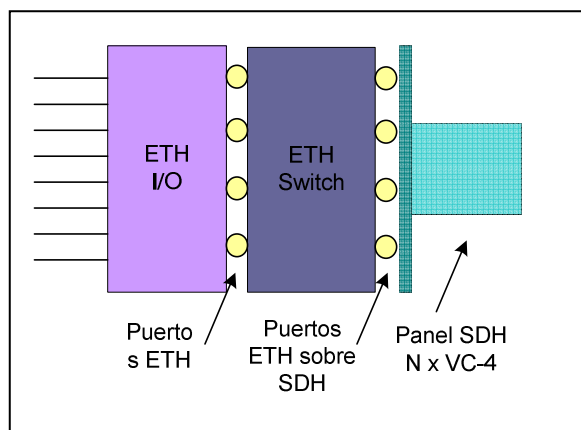
Los módulos *Ethernet* (ETH) de un sistema SDH de nueva generación, están provistos de accesos naturales ETH para ingresar a la infraestructura SDH. Además de proveer conectividad física ETH, estos módulos tienen la funcionalidad de optimizar y hacer más eficiente el manejo del flujo de tráfico ETH con QoS.

Estos módulos *Ethernet*, reciben y envían tráfico ETH mediante dos tipos de puertos:

- Puertos físicos ETH (10/100 Base T o 1000 Base SX/LX)
- ETH sobre SDH (referido a los puertos troncales)

Los puertos físicos ETH son conectados a un Switch ETH interno procesando cada flujo tomando en cuenta el envío de la trama. Figura 16.

**Figura 16. Puertos serie ETH sobre SDH.**



Los siguientes estándares son aplicables a los puertos físicos ETH.

- IEEE 802.3 10BASE-T Ethernet (par trenzado)
- IEEE 802.3u 100BASE-TX Fast *Ethernet* (par trenzado)
- IEEE 802.1z (Gigabit *Ethernet*)
- ANSI/IEEE 802.3 Auto-negociación
- IEEE 802.3x Control de flujo

El control de flujo de tramas es utilizado para prevenir congestión en la red, que puede ser causado por paquetes descartados por saturación de la misma; el mecanismo de control de flujo detiene la emisión hasta que el ancho de banda concedido al servicio sea capaz de absorber tráfico nuevamente. Como resultado se obtiene que no habrá paquetes perdidos en caso de congestión. El control de flujo puede ser habilitado o deshabilitado según sea la elección del operador.

Los siguientes estándares se aplican a los puertos ETH sobre SDH.

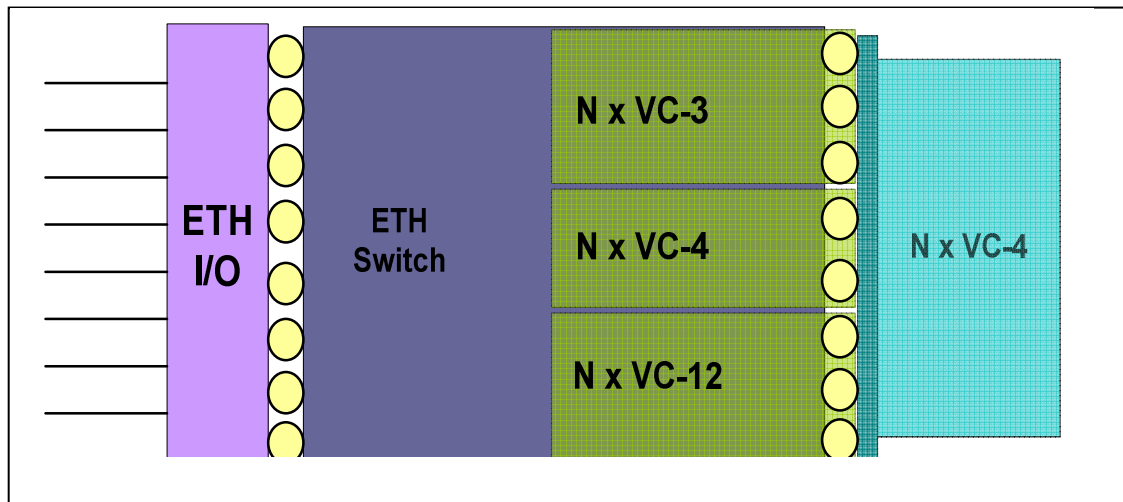
- ITU-T G.7041 GFP (Generic Framing Procedure)
- ITU-T G.7042 LCAS (Link Connection Adjustment Scheme)
- G.707 (SDH VC, concatenación virtual de orden bajo y alto, VC-12, VC-3 y VC-4 nv)

El tráfico ETH, convenientemente mapeado en la estructura de transporte SDH es enviado hacia la matriz SDH para luego ser enviado al correspondiente puerto SDH.

Una troncal es conformada por una conjunto de contenedores virtuales, (VC's) SDH agrupados conjuntamente según la ITU-T G.707 y la ITU-T G.7042. El ancho de banda de la troncal en modo de operación normal corresponde al ancho de banda disponible por el grupo de VC's.

(ejemplo: 5 VC – 12 es igual a 10 Mbps).

**Figura 17. Construcción de un VC SDH a través de una troncal ETH.**



### **3.2.2. Clasificación de tráfico**

El tráfico ETH puede clasificarse de acuerdo a un conjunto de estándares según sea el criterio provisto para alcanzar la capacidad deseada.

Los criterios de clasificación son los siguientes:

- Puerto (Físico ETH o ETH sobre SDH)
- IEEE 802.1Q (etiquetado VLAN)
- IEEE 802.1.p (Prioridad de trama ETH)
- IEEE 802.3 Fuente/Destino MAC address



### 3.3 Requerimientos

Los equipos SDH de nueva generación, al igual que sus predecesores los equipos SDH, están diseñados para ser utilizados en función de la distancia que exista entre un nodo y otro, y del requerimiento de ancho de banda. De esta manera tendremos equipos de corto alcance y equipos de largo alcance con mezcla según la capacidad de transporte.

Los principales estándares que se integran a los requeridos para la SDH convencional para el funcionamiento de la SDH de nueva generación son:

- ITU-T G.7041. *Generic Framing Procedure (GFP)*: Que se refiere a la adaptación de los múltiples servicios sobre los "payloads" de SDH.
- ITU-T G.707/783. *Virtual Concatenation (VCAT)*: Protocolo que se encarga de que las señales ocupen varios contenedores virtuales SDH no contiguos, asimismo, se encarga del ajuste del ancho de banda de la señal a transportar y regula el transporte de los contenedores por la red de forma independiente y del reensamble de los mismos en el lugar de destino.

- ITU-T G. 7042 *Link Capacity Adjustment Schem* (LCAS): Añade o elimina ancho de banda a un circuito VCAT automáticamente en tiempo real, sin afectar los datos. Opera de forma simétrica o asimétrica, aprovisiona automáticamente el ancho de banda en función de la demanda o del estado de la red y permite la re configuración dinámica de los contenedores virtuales.
- IEEE802.17. *Resilient Packet Ring* (RPR): Proporciona el servicio de transmisión de paquetes no orientado a conexión entre nodos de un anillo SDH. Utiliza un algoritmo automático de descubrimiento de nodos y aprendizaje de topología de red. Cada nodo almacena dos caminos (primario y secundario) al resto de nodos. Los datos se envían por el primario y si existe alguna falla en éste se conmuta automáticamente al camino secundario en menos de 50 mseg.

Las redes SDH de nueva generación, en la mayoría de los casos en el área metropolitana, utilizan ya multiplexación por longitud de onda, con lo que los requerimientos sobre la planta externa se agudizan un poco más.

Debido a que lo que se pretende en éste trabajo de graduación es proporcionar la información necesaria para preparar una red SDH convencional para soportar una SDH de nueva generación, se hace el planteamiento para el transporte de una única longitud de onda.

Como se menciona con anterioridad, la red SDH que se estudia en este trabajo de graduación, cuenta con equipos que transmiten a una longitud de onda de 1550 nm, y los equipos SDH de nueva generación investigados, también transmiten a esta longitud de onda para poder observar las ventajas del nuevo protocolo.

Los niveles de potencia de transmisión y recepción de los equipos SDH de nueva generación, se encuentra en un rango de -1 a -2 dBm de transmisión y de -5 a -18 dBm de recepción. Con estos valores se puede calcular el valor máximo de pérdidas con el cual el enlace funcionará.

### **3.4 Diferencias y ventajas de la SDH nueva generación sobre SDH tradicional**

La red SDH es robusta para transportar tráfico basado en TDM, debido a que para eso fue concebida, pero no está diseñada para manejar muchos de los paquetes de datos que en la actualidad se transmiten; debiendo ceder éste transporte a otras tecnologías como lo es la *Ethernet*. La nueva generación de SDH está diseñada principalmente para soportar nuevos servicios como lo son *Ethernet*, *Fibre chanel*, *ESCON* y *DVB* (video digital), con muy alto ancho de banda y costos limitados.

La enorme ventaja de la SDH de nueva generación es que permite introducir nuevas tecnologías a las redes tradicionales SDH reemplazando los elementos perimetrales de la red. Con esta capacidad, tanto los servicios TDM como los orientados a paquetes, son manejados eficientemente en la misma longitud de onda, se mejora significativamente el manejo de ancho de banda para información en paquetes y se mantienen las funciones críticas de las redes TDM.

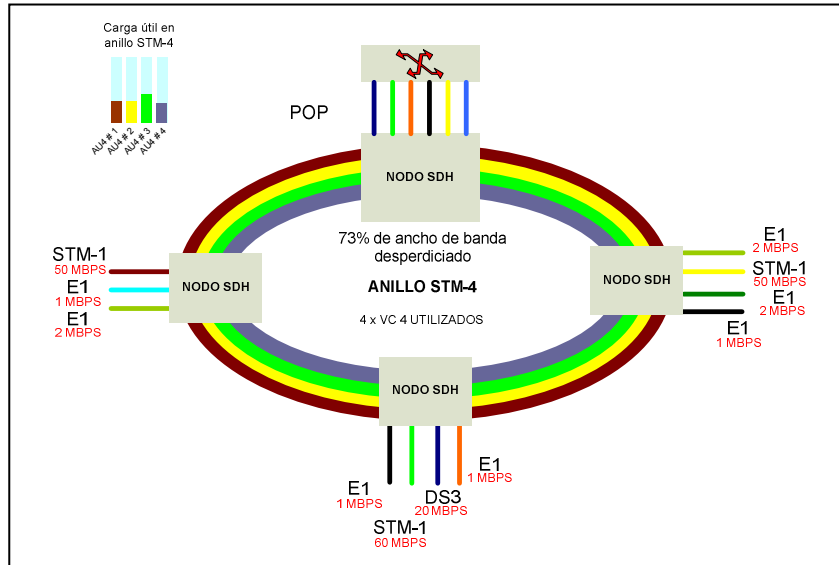
La SDH de nueva generación aumenta las capacidades de las redes tradicionales, con lo que se obtiene mayor latencia, calidad y disponibilidad de servicios.

Las principales ventajas la SDH de nueva generación se resumen en el siguiente listado:

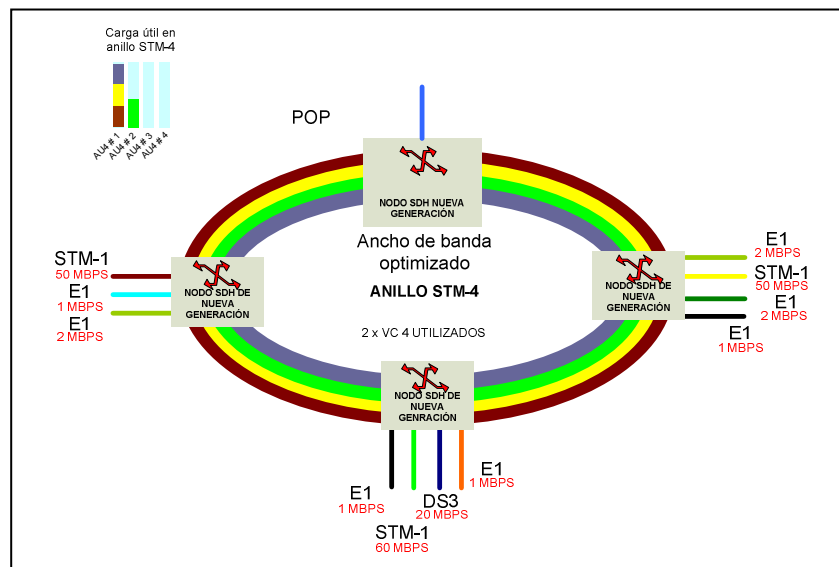
	<b>SDH</b>	<b>NEW SDH</b>
CAPACIDAD DE REENRUTAR TRÁFICO	<b>si</b>	<b>si</b>
CAPACIDAD DE TRANSPORTAR <i>ETHERNET</i>	<b>no</b>	<b>si</b>
CARGAS DE TRÁFICO	<b>› a la medida</b>	<b>a la medida</b>
OPTIMIZACIÓN DEL ANCHO DE BANDA	<b>no</b>	<b>si</b>
NECESIDAD DE MONTAR VARIAS REDES PARA BRINDAR VARIOS SERVICIOS	<b>si</b>	<b>no</b>
TRANSPORTE SÍNCRONO	<b>si</b>	<b>si</b>
ANCHO DE BANDA CONSTANTE	<b>si</b>	<b>si</b>

En las figuras 15 y 16 se muestra como la SDH de nueva generación optimiza el ancho de banda en un anillo STM-4.

**Figura 18. Anillo SDH convencional STM 4.**



**Figura 19. Anillo nuevo SDH STM 4.**





## **4. ADECUACIÓN DE LA RED**

### **4.1 Estado actual de la red de una empresa nacional de transporte de datos que utiliza el protocolo SDH**

Es de suma importancia conocer el estado de la red, debido a que éste es el punto de partida en todo proceso de remodelación, mantenimiento y adecuación. Es necesario saber con qué material se cuenta, el estado de la infraestructura, distancia entre nodos, capacidad de los nodos, equipo de medición, etc. Con esta información, se podrá proponer y realizar un procedimiento que sirva para la adecuación de una red de fibra óptica SDH en una red de fibra óptica SDH de nueva generación.

#### **4.1.1. Fibra utilizada**

La fibra utilizada para enlazar los nodos es del tipo monomodo, con diámetros  $9/125 \mu m$ , del tipo estructural ADSS y cumple con la norma G.652. El cable de fibra óptica contiene en su interior 48 hilos de fibra óptica, que se agrupan de en tubos de 6 hilos por tubo, teniendo así 8 tubos debidamente identificados por el código de colores internacional.

#### **4.1.2. Distribución de nodos**

Los nodos están distribuidos de tal forma que se cumple con los requerimientos de los equipos de transmisión (potencia del láser y sensibilidad del receptor) y la cantidad de usuarios (actuales y potenciales) en un área específica.

#### **4.1.3. Capacidad de la red**

La red SDH de la cual se habla en este trabajo de graduación, tiene una capacidad para transportar un STM 16. Es decir, la red tiene la posibilidad de transmitir de un punto a otro sin ningún tipo de problema 2.5 Gbps. Esto hace de la red, en nuestro medio y en la actualidad, que sea suficientemente capaz y eficiente para transportar cualquier tipo de información.

### **4.2 Identificación de puntos críticos en la red**

Debido a que la infraestructura de la empresa cuenta con postes para el tendido de cable, la fibra utilizada es del tipo ADSS.



Que la fibra esté sujeta a postes, conlleva también a que sufra un sinnúmero de accidentes, entre los cuales se puede mencionar: accidentes de tránsito, derribo de árboles, cortes parciales producidos por proyectil de arma de fuego o herramientas de poda, incendios provocados intencionalmente para cosecha, etc. Por tal motivo es necesario ubicar, desde un principio, los puntos críticos que puedan existir y de esta forma prever posibles cortes en el cable e interrupciones en la red.

### **4.3 Mediciones de las pérdidas**

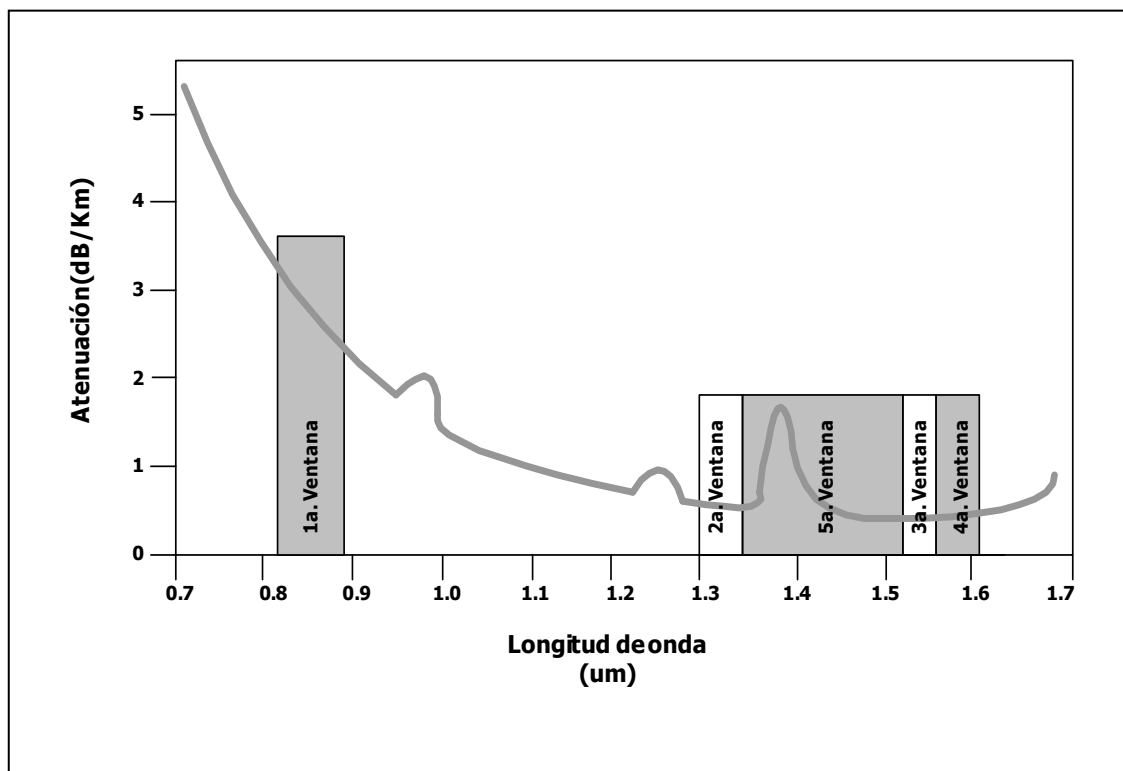
Como es de esperarse, en toda instalación existen pérdidas y el reto es disminuirlas al valor mínimo que puedan alcanzar. Hay pérdidas que son inherentes a la fibra, es decir que no existe forma alguna de disminuirlas; también existen las pérdidas por instalación, que se deben a un mal proceso de instalación del cable propiamente dicho y también a un mal empalme o simplemente a conectores sucios.

#### **4.3.1. Pérdidas inherentes a la fibra**

Este tipo de pérdidas se produce por la interacción luz-materia. Debido a que la luz viaja en un material, que no es el vacío, éste se opone al paso de la luz, produciendo pérdidas y las magnitudes de ellas varían dependiendo del material de la fibra y la longitud de onda con que se trabaje.

En la actualidad se ha logrado elaborar fibras ópticas que minimizan las pérdidas en las ventanas de operación, tratando de mantener una igualdad en las distintas longitudes de onda. Estas fibras son utilizadas para transmitir información utilizando multiplexación por longitud de onda; aumentando de esta manera la tasa de transmisión.

**Figura 20. Ventanas de operación en una fibra óptica G-652.**



### **4.3.2. Pérdidas por empalme**

Este tipo de pérdidas se puede presentar por diversas causas o combinación de ellas. Básicamente es una atenuación en la unión de dos fibras debido a:

- Suciedad en las fibras a unir
- Ángulo de corte elevado
- Fibra astillada
- Fibras no alineadas
- Burbuja en la fusión

Las pérdidas por empalme se pueden disminuir si se utilizan los materiales y herramientas adecuadas así como teniendo el mayor de los cuidados al operar la fibra.

Como se expuso anteriormente existen dos tipos de empalme; empalme mecánico y empalme por fusión. El empalme mecánico es el que produce pérdidas mayores debido a que es el operario quien, basado en su experiencia, decide cuándo las fibras están completamente alineadas y con el contacto físico correcto. Para realizar este tipo de empalme es necesario que se limpie perfectamente la fibra y realizar un buen corte.

El empalme por fusión produce menos pérdidas que el empalme mecánico, pero al igual que en éste es necesario limpiar correctamente las fibras y realizar un buen corte; la tarea de enfrentar y alinear las fibras la hace la empalmadora, reduciendo de esta manera las pérdidas que el operador pueda insertar al hacer un empalme manual. Así mismo al producir un pre-arco eléctrico antes de unir las fibras, la empalmadora limpia, en parte, las fibras para posteriormente unir las fusionándolas teniendo de esta manera un contacto físico perfecto.

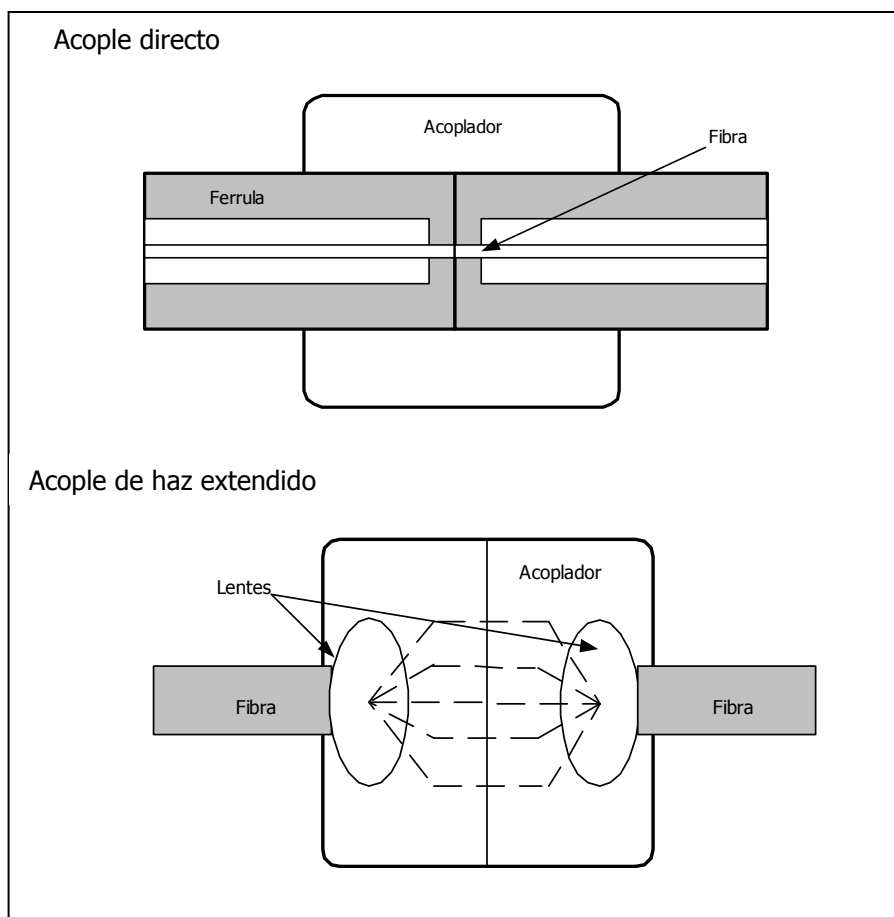
#### **4.3.3. Pérdidas en conectores**

En muchos de los casos suele suceder que las pérdidas no se encuentran en los empalmes sino en los conectores. La magnitud de la pérdida puede variar dependiendo del daño que se encuentre en el conector y esto puede ir desde polvo, que produce errores en la transmisión, hasta un latiguillo o cordón de conexión roto produciendo que no exista transmisión.

Las pérdidas en los conectores también puede darse por el mal acoplamiento entre ellos.

Existen dos clases de acoplamiento, acoplamiento físico o directo y acoplamiento de haz extendido. En el primero estos acoplamientos, los conectores tienen un contacto físico directo el acoplador se encarga de enfrenar y alinear la fibra. El acoplamiento por haz extendido, se hace por medio de lentes que recolectan la luz de una fibra y la enfocan en otra, de esta manera lograr que la mayor cantidad de luz sea transferida. De estos dos tipos de acople, el primero de ellos es el más utilizado.

**Figura 21. Tipos de acople de conectores.**



#### **4.3.4. Pérdidas por retorno**

La medida de las pérdidas por retorno se realiza cuando utilizamos un láser como generador de luz. La medida determina la cantidad de potencia óptica que es reflejada hacia atrás en dirección al generador láser, a través de la misma fibra.

Altos porcentajes de reflexión óptica hacia el generador pueden afectar a la estabilidad del propio láser y causar un funcionamiento erróneo. La potencia reflejada debe mantenerse por debajo de las especificaciones del equipo de comunicaciones.

#### **4.3.5. Pérdidas por causas varias**

Entre este tipo de pérdidas podemos mencionar las causadas por una mala instalación, como pueden ser un radio de curvatura pequeño, sobre tensión mecánica en la fibra o golpes; también podemos incluir los debidos a sobrecalentamiento en la fibra (por el lugar de instalación), degradación en los emisores de luz, lo que produce atenuación y por lo tanto errores en la transmisión.

### **4.3.6. Equipos de medición**

Para evaluar una red de fibra óptica es necesario medir las pérdidas que se encuentren en la red y corregirlas para su optimización. Es necesario para ello utilizar equipos de medición adecuados y de alta precisión que ayudan a la detección de pérdidas, su valor y ubicación.

Entre los equipos de medición más utilizados se encuentran: OTDR, medidores de potencia y lámparas ópticas.

#### **4.3.6.1. OTDR**

El reflectómetro óptico en el dominio del tiempo se utiliza para obtener una representación visual de las características de atenuación de una fibra a lo largo de toda su longitud.

En la gráfica presentada por el OTDR se puede observar que sobre el eje X se muestra la longitud total de la fibra y sobre el eje Y la atenuación en decibeles. A través de esta gráfica se puede determinar información tal como atenuación de la fibra, las pérdidas en los empalmes, las pérdidas en los conectores y la localización de anomalías.

La utilización del OTDR es el único método por el cual se puede determinar la localización exacta de una rotura de la fibra óptica en cuyo recubrimiento externo no presente daños visibles; también puede localizarse con bastante precisión pérdidas producidas por los empalmes individuales y de esta manera permite determinar si el empalme está dentro de las especificaciones o si requiere hacerlo de nuevo.

El OTDR, cuando está en funcionamiento, emite un impulso corto de luz a través de la fibra y mide el tiempo que le toma a los impulsos reflejados retornar de nuevo al OTDR. Conociendo el índice de refracción de la fibra óptica y el tiempo requerido para que lleguen las reflexiones, el OTDR calcula la distancia recorrida del impulso de la luz reflejada.

$$Dist = \frac{3 * 10^8 * tiempo}{2 * indice\ de\ refracción}$$

El OTDR mide también la potencia del impulso de luz reflejado y muestra la atenuación de la fibra en función de la distancia.

#### **4.3.6.2. Medidores de potencia**

Este tipo de medidores consta de dos piezas, un generador de luz y un medidor de potencia. El generador de luz tiene un selector de longitud de onda y emite luz a una cierta potencia. El medidor de potencia únicamente recibe la luz emitida por el otro equipo.



Los medidores de potencia se utilizan para medir la pérdida total en un enlace de fibra óptica a cierta longitud de onda, también para medir los cordones de conexión y acoples de conectores.

Debe tenerse el cuidado de calibrar correctamente los medidores de potencia para no tener inconvenientes por una mala medida en el tramo de fibra óptica. Ésta calibración se realiza con un cordón de conexión de referencia que debe estar siempre con los medidores de potencia.

La medición de un enlace de fibra óptica terminado debe realizarse utilizando dos cordones de conexión de referencia, colocando uno en cada extremo de la fibra en evaluación, además se deben conectar el generador de luz y el medidor de potencia, previamente calibrados, uno en cada extremo. Posteriormente, se invierten las posiciones del generador y medidor de potencia y se realiza nuevamente la medida.

#### **4.3.6.3. Lámpara óptica**

Este instrumento de medición, aunque es muy simple, es de gran valor operacional. La lámpara óptica es un aparato que emite una luz visible. A ella se conecta un extremo de la fibra óptica, la luz viaja a través de toda la fibra haciendo más sencilla la identificación del hilo de fibra en las cajas de empalmes y bandejas de conexión; de esta manera se puede saber con certeza qué hilo de fibra será el que debe operarse. Adicionalmente, debido a que la luz debe viajar dentro de la fibra, y al momento de existir curvaturas menores al radio permitido, la luz se refractará hacia fuera de la fibra. La lámpara óptica puede utilizarse para observar dentro del modulo de empalmes si existe demasiada atenuación debido a radios menores a los permitidos.

#### **4.3.7. Delimitación de tramo a evaluar**

Debido a que la red de fibra es demasiado extensa, se delimitará y evaluará únicamente un tramo de la red. Esto no implica que el procedimiento que se propondrá no se pueda utilizar en los otros tramos de la red de fibra óptica obteniendo resultado similares.

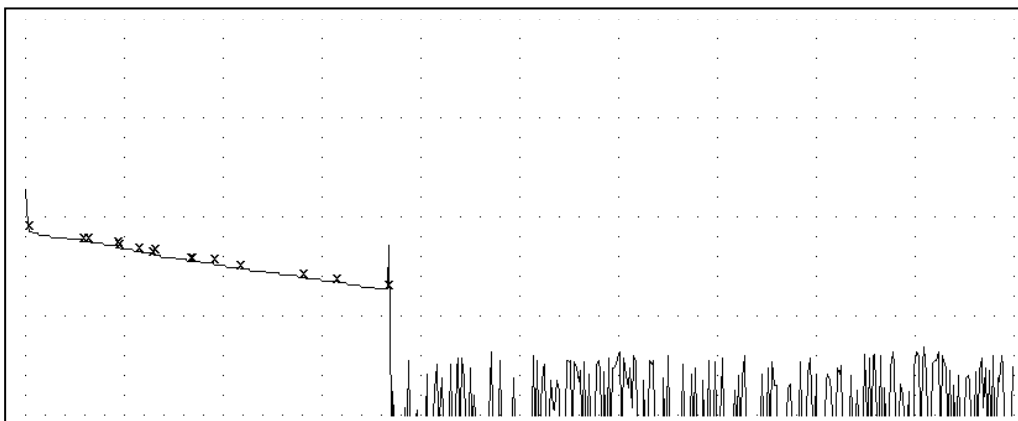
El tramo de red a evaluar se sitúa desde el kilómetro 50 al 106.5 de la carretera que conduce de la ciudad de Escuintla hacia el departamento de Suchitepéquez, haciendo un total de 50 kilómetros de longitud. Se evaluarán 4 hilos de fibra óptica correspondientes al tubo azul (hilos del uno al cuatro)

Este tramo presenta varias dificultades, debido a que viaja al lado de la carretera por la que circula transporte de grandes dimensiones, también atraviesa poblaciones y cultivos de caña.

#### **4.3.8. Toma y evaluación de mediciones**

A continuación se presentarán cuatro gráficas de mediciones con su respectiva tabla de eventos como ejemplo del estado de la red en el tramo de fibra descrito en secciones anteriores.

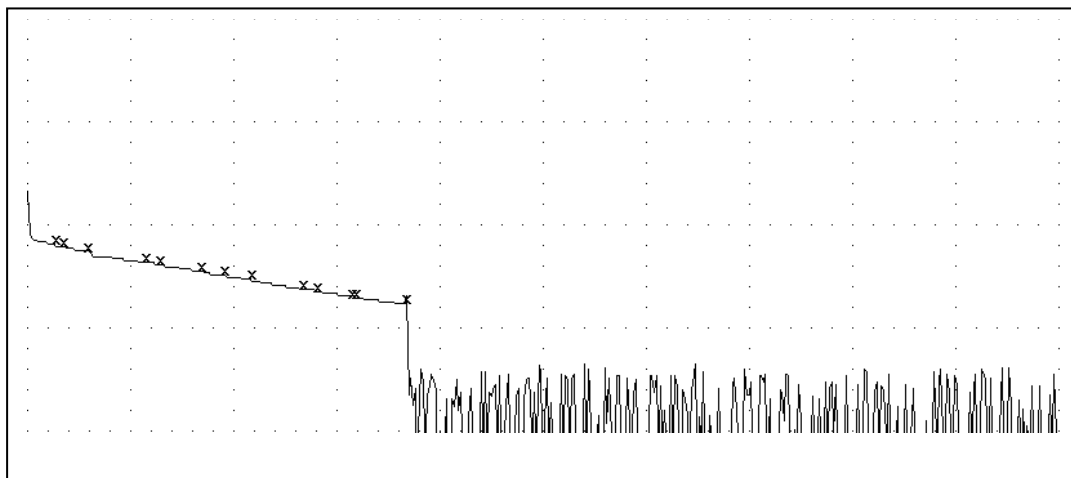
**Figura 22. Gráfica de medición de fibra óptica uno.**



**Tabla III. Eventos resultantes de la medición de la fibra óptica uno.**

No.	Posición (km)	S.Loss(dB)	R.Loss(dB)	dB/km	Custom	Spl.Error[dB]
01	0.34762	-0.12		0.22	0.08	+/- 0.01
02	6.13455	0.08		0.27	1.91	+/- 0.00
03	6.62532	0.05		0.24	2.10	+/- 0.00
04	9.50855	0.09		0.20	2.71	+/- 0.00
05	9.73349	0.24		0.27	2.84	+/- 0.00
06	11.83968	0.16		0.21	3.50	+/- 0.00
07	13.25063	-0.07		0.24	3.96	+/- 0.00
08	13.43467	0.20		0.28	3.93	+/- 0.00
09	17.07450	-0.06		0.22	4.90	+/- 0.00
10	17.38123	0.08		0.21	4.90	+/- 0.00
11	19.58967	0.07		0.21	5.43	+/- 0.01
12	22.18663	0.09		0.21	6.04	+/- 0.01
13	28.77104	0.11		0.19	7.38	+/- 0.01
14	32.39043	0.07		0.20	8.19	+/- 0.02
15	37.58435	END	32.39	0.20	9.32	

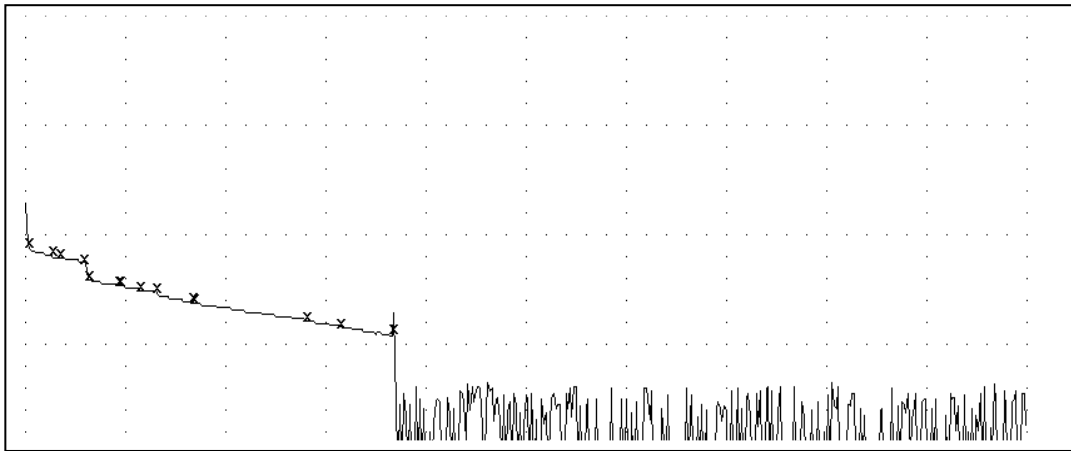
**Figura 23. Gráfica de medición de fibra óptica dos.**



**Tabla IV. Eventos resultantes de la medición de la fibra óptica dos.**

No.	Position(km)	S.Loss(dB)	R.Loss(dB)	dB/km	Custom	Spl.Error[dB]
01	2.78100	-0.21		0.40	1.10	+/- 0.01
02	3.74208	0.20		0.22	1.39	+/- 0.01
03	6.13455	0.49		0.22	2.10	+/- 0.01
04	11.83968	-0.05		0.20	3.73	+/- 0.02
05	13.27108	0.05		0.24	4.02	+/- 0.02
06	17.38123	0.18		0.23	5.00	+/- 0.02
07	19.56922	0.02		0.20	5.61	+/- 0.01
08	22.20708	0.22		0.19	6.17	+/- 0.01
09	27.33965	-0.06		0.23	7.56	+/- 0.01
10	28.75060	0.15		0.21	7.81	+/- 0.02
11	32.39043	0.07		0.20	8.67	+/- 0.02
12	32.77895	-0.03		0.36	8.86	+/- 0.03
13	37.58435	END	46.03	0.21	9.84	

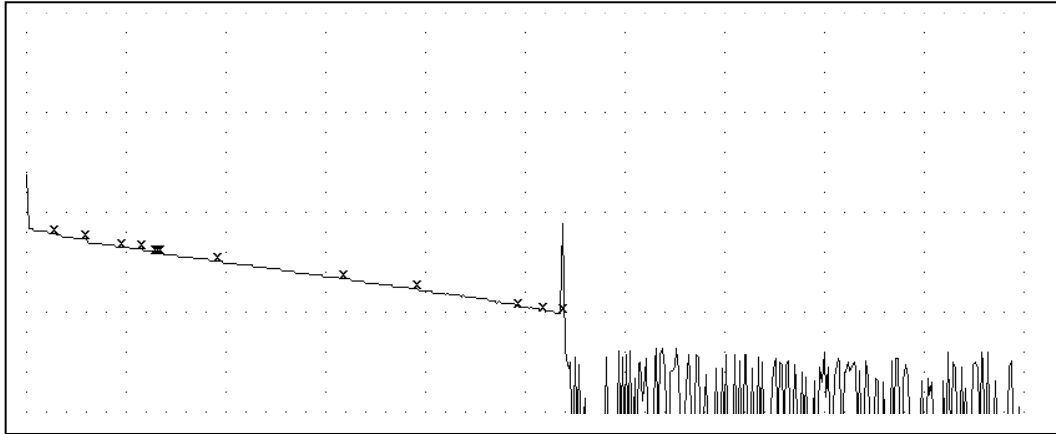
**Figura 24. Gráfica de medición de fibra óptica tres.**



**Tabla V. Eventos resultantes de la medición de la fibra óptica tres.**

No.	Position(km)	S.Loss(dB)	R.Loss(dB)	dB/km	Custom	Spl.Error[dB]
01	0.32718	-0.21		0.30	0.10	+/- 0.01
02	2.78100	0.11		0.40	1.29	+/- 0.01
03	3.74208	0.04		0.19	1.62	+/- 0.01
04	6.15500	2.39		0.29	2.33	+/- 0.02
05	6.62532	0.08		0.26	4.67	+/- 0.02
06	9.50855	0.02		0.21	5.34	+/- 0.01
07	9.73349	0.10		0.15	5.39	+/- 0.01
08	11.83968	-0.09		0.21	5.94	+/- 0.01
09	13.45512	0.63		0.25	6.26	+/- 0.01
10	17.07450	0.15		0.22	7.63	+/- 0.01
11	17.38123	0.05		0.19	7.81	+/- 0.01
12	28.73015	0.08		0.20	10.11	+/- 0.04
13	32.39043	0.10		0.22	10.99	+/- 0.06
14	37.60480	END	40.61	0.21	12.18	

**Figura 25. Gráfica de medición de fibra óptica cuatro.**



**Tabla VI. Eventos resultantes de la medición de la fibra óptica cuatro.**

No.	Position(km)	S.Loss(dB)	R.Loss(dB)	dB/km	Custom	Spl.Error[dB]
01	2.78100	0.03		0.22	0.62	+/- 0.00
02	2.92414	0.18		0.31	0.77	+/- 0.00
03	6.21635	0.31		0.23	1.66	+/- 0.00
04	9.81528	0.04		0.21	2.72	+/- 0.00
05	11.92148	0.07		0.19	3.16	+/- 0.00
06	13.33242	0.12		0.20	3.51	+/- 0.00
07	13.51646	0.07		0.22	3.65	+/- 0.00
08	13.76184	0.03		0.03	3.73	+/- 0.00
09	19.67146	0.03		0.19	4.86	+/- 0.01
10	32.43133	0.06		0.20	7.48	+/- 0.02
11	40.11996	0.10		0.20	9.08	+/- 0.04
12	50.56915	END	5.28	0.23	12.71	

Como se puede observar en las gráficas de las mediciones y en las tablas de eventos proporcionadas por el OTDR, existen varios hilos de fibra que no llegan hasta el final del trayecto, (55 Km), además de tener, la mayoría de ellos, pérdidas por empalmes de hasta 0.4 dB. , pérdidas altamente significativas y que para una red SDH de nueva generación representarían pérdidas de paquetes, reenvío de datos y disminución en la velocidad de transmisión.

#### **4.4 Implementación de soluciones**

Basados en las mediciones obtenidas con el OTDR, se procederá a su interpretación y evaluación para posteriormente, plantear un procedimiento que pueda aplicarse para la adecuación de la red SDH para soportar una red SDH de nueva generación.

##### **4.4.1. Elaboración de procedimiento para adecuación de la red**

En la adecuación de una red SDH que soporte una red SDH de nueva generación se deben seguir, en el procedimiento a utilizar para el presente trabajo, los pasos que a continuación se listan:



**A.** Como primer paso en la elaboración del procedimiento que servirá para la adecuación de una red SDH a una red SDH de nueva generación, se calculará, basados en los datos de potencia de salida y sensibilidad de entrada, la pérdida máxima, teórica, que se puede tolerar en el enlace; y con los datos de las características del cable, conectores y número de empalmes, la pérdida máxima que se espera conseguir.

**B.** Posteriormente, se hará uso de una hoja de cálculo en la que se importarán los datos obtenidos en las mediciones hechas con OTDR, utilizando esta herramienta, se filtrará y se ordenará la información obtenida, de tal forma que los datos se agrupen según la distancia en común a la que se encuentran las pérdidas en los diferentes hilos de fibra y los valores de dichas pérdidas. Con esta agrupación se puede determinar si las pérdidas se asocian a una caja de empalme o a un evento en particular, que puede ir desde atenuación hasta ruptura del hilo debido a diversas razones.

**C.** Al tener los datos ya agrupados, se procede a la revisión de los mismos y se determina, basados en el levantamiento de la red, en qué lugares es necesario realizar nuevamente los empalmes y específicamente en qué hilos de fibra hay que realizarlos, puede determinarse también si es necesario sustituir un tramo de cable o cambiar la ruta del mismo. Para este paso es necesario contar con los planos de instalación de la red y las actualizaciones que ésta haya sufrido.

**D.** Dependiendo de los eventos y daños que se encuentren en el cable, es necesario realizar una visita de campo, para verificar si es posible cambiar la ruta del cable y de esta forma minimizar los daños que puedan ocurrir en la red.

**E.** Las correcciones que deban hacerse en cable de fibra, deben hacerse con tres grupos de trabajo. Dos grupos de trabajo se encontrarán uno en cada extremo del tramo a corregir, es decir en los nodos que se conecten a través del cable, haciendo mediciones en las dos direcciones sobre los hilos a corregir y el otro grupo será el encargado de corregir y realizar los empalmes que sean necesarios para la adecuación de la red.

**F.** Los equipos de medición deben estar debidamente configurados con los parámetros de la fibra a medir, como lo son: la distancia, ancho de pulso, tiempo de medición y, lo más importante el índice de refracción de la fibra, deben ser los correctos.

**G.** De igual forma, la máquina de fusión debe tener el arco eléctrico estabilizado, debido a que a diferentes alturas y climas, el arco varía levemente, esto provoca que al momento de efectuarse la fusión, ésta quede con pérdidas de mayor valor al que se podría llegar si se tiene el arco eléctrico estabilizado.

**H.** Antes de realizar las reparaciones necesarias en las diferentes cajas de empalme, basados en la visita de campo, deben sustituirse los tramos que contengan demasiadas cajas de empalme, también los que se encuentren con daños severos y deberá hacerse el cambio en el trazo de la ruta del cable donde sea conveniente.

**I.** Se iniciará la corrección de las diferentes atenuaciones encontradas, principiando desde los paneles de conexión en ambos extremos; para esto se utilizará tanto el OTDR como la lámpara óptica. Debe corregirse, si existiese, cualquier cruce de hilos e identificarse correctamente el panel de conexión.

**J.** Para efectuarse estas primeras correcciones, al realizar las mediciones con el OTDR, éste debe estar conectado a una bobina de lanzamiento; que servirá para evitar la zona muerta del equipo de medición; seguido a la bobina debe estar el conector del panel de conexión que contenga el hilo de fibra a medir. Sumadas las pérdidas producidas por el conector, la fusión del latiguillo al hilo del cable y el acople de conectores, no deben ser mayores a 0.8 dB, valor que se tomará como óptimo para el proceso de adecuación.

**K.** Luego de haber realizado las correcciones correspondientes en los paneles de conexión, se trabajará en las cajas de empalmes, iniciando desde la más cercana a cualquiera de los extremos hasta llegar al otro extremo.

**L.** En este proceso de reducción de pérdidas en cajas de empalme y en paneles de conexión, debe tenerse el mayor de los cuidados para no afectar los servicios que se transporten en los distintos hilos del cable, tratando de aislar estos hilos para su posterior reparación.

**M.** Se medirá desde ambos extremos con el OTDR configurado en *tiempo real*, es decir, que cualquier variación que surja en el cable se notará instantáneamente en el equipo de medición. Esta medición servirá para ubicar de mejor manera el hilo de fibra en el cual se está trabajando y saber con certeza a qué distancia se encuentra, de los paneles de conectores, el grupo de reparación.

**N.** Una vez ubicados, se procede a repetir los empalmes por fusión en los diferentes hilos según sea necesario, posteriormente se medirá nuevamente con el OTDR, ahora configurado en *promedio*, para obtener un valor exacto de la pérdida del empalme en ese lugar. La medición debe efectuarse de ambos lados.

**O.** Se aceptará una pérdida por empalme no mayor a 0.16 dB para este proceso de adecuación.

**P.** Estos pasos, empalme y medición, deben realizarse hasta conseguir los valores deseados y es el mismo proceso para todas las cajas de empalme donde se requiera, hasta llegar al otro extremo del tramo a readecuar.

**Q.** Una vez concluidas las reparaciones, se procederá a medir nuevamente con el OTDR y con los medidores de potencia, luego se compararán los datos obtenidos con las pérdidas máximas que en teoría deberían de existir en el cable, las cuales deben ser mayores que las alcanzadas en el proceso de readecuación.

**R.** Dentro de los pasos del procedimiento y debido a la importancia de la comunicación, se debe trabajar en los hilos del cable que se encuentren desocupados, es decir que no transporten servicios, durante el tiempo que dure la reparación y adecuación. Luego se debe migrar el tráfico a los hilos ya reparados y trabajar posteriormente, en los hilos que estaban en funcionamiento (utilizando el mismo proceso descrito en el presente subtítulo) La migración del tráfico a estos hilos debe realizarse previa autorización y supervisión de los gestores de la red, para que estén enterados y sepan que hacer al momento de surgir algún contratiempo.

**S.** Para finalizar, se debe elaborar un documento de certificación y entrega de hilos corregidos. En el mismo se debe especificar por hilo corregido las pérdidas mayores, la pérdida total del tramo, número de eventos y localización de cajas de empalme. Así mismo debe incluir sugerencias para el mantenimiento del tramo.

#### **4.4.2. Aplicación del procedimiento**

Utilizando las mediciones y tablas de resultados presentados en el subtítulo 4.3.8 y con los datos obtenidos de las hojas de especificaciones de los equipos de transmisión y del cable de fibra óptica utilizado, se procederá a la aplicación del procedimiento descrito en el subtítulo 4.4.1.

### **Pérdida máxima teórica:**

*Potencia de Salida – Sensibilidad de entrada = Pérdida máxima*

$$-2 \text{ dB} - (-18) \text{ dB} = 16 \text{ dB}$$

La pérdida máxima que el enlace puede tolerar es 16 dB.

### **Pérdida máxima esperada:**

*Pérdida por conector \* cantidad de conectores + pérdida por empalme \* cantidad de empalmes + pérdida por latiguillos \* cantidad de latiguillos + pérdida por acopladores \* cantidad de acopladores + pérdida inherente a la fibra (dB/km) \* longitud del enlace = Pérdida máxima por características del enlace.*

$$0.5 \text{ dB} * 2 + 0.16 \text{ dB} * 13 + 0.3 \text{ dB} * 2 + 0.5 \text{ dB} * 2 + 0.23 \text{ dB/km} * 50.569 \text{ km} = 16.310 \text{ dB}$$

La pérdida máxima que se espera obtener es 16.310 dB. (En promedio)

Los datos obtenidos son importados a una hoja de cálculo, ordenados y agrupados de una forma útil, son presentados en la tabla y en ella se hace referencia a lugares físicos donde están los eventos.

Basados en la tabla y la respectiva visita de campo, se determina que es necesario hacer el tendido de un nuevo tramo de cable de fibra óptica de una longitud de 5000 m para reparar un tramo sumamente dañado.

Los parámetros con los que se debe calibrar la fusionadora para después hacer su respectiva estabilización son:

- Fibra monomodo de 65 nm.
- Tiempo de pre-arco de 25 milisegundos.
- Tiempo de arco de 1.5 segundos.

Los parámetros óptimos para realizar las mediciones con el OTDR son:

- Longitud de onda 1550 nm.
- Ancho de pulso (Variará entre 100 y 4000 ns, según la distancia a que se encuentre la atenuación a corregir).
- Distancia (Variará entre 10000 y 100000 metros, según la distancia a que se encuentre la atenuación a corregir).
- Tiempo de medición (Se alternará entre el modo promedio y tiempo real. Tiempo real se utilizará para ubicar con exactitud la distancia en que se encuentra la atenuación y el modo promedio se utilizará para la certificación de cada corrección).
- IOR, es el índice de refracción de la fibra óptica, se toma de la hoja de especificaciones del fabricante.

La bobina de lanzamiento utilizada tiene una longitud de 946 metros, trasladando así la zona muerta del OTDR que es de 80 metros, según la hoja de especificaciones.

Se decide que la corrección de las atenuaciones debe iniciar en la caja de empalmes más cercana al nodo de red ubicado en la ciudad de Escuintla y finalizar en la caja de empalmes cercana al nodo de red ubicado en el kilómetro 106, carretera a Suchitepéquez.

Al finalizar la corrección de los hilos no ocupados, se realiza la medición final de los hilos corregidos y a su vez se tramita la correspondiente ventana de mantenimiento para realizar el cambio de los hilos en servicio a los hilos ya corregidos y se procede a la corrección de los hilos faltantes.

Al finalizar las correcciones, se elabora un documento de certificación y entrega de los hilos de fibra por los que puede transmitirse un enlace SDH de nueva generación.



**Tabla VII. Datos ordenados y agrupados.**

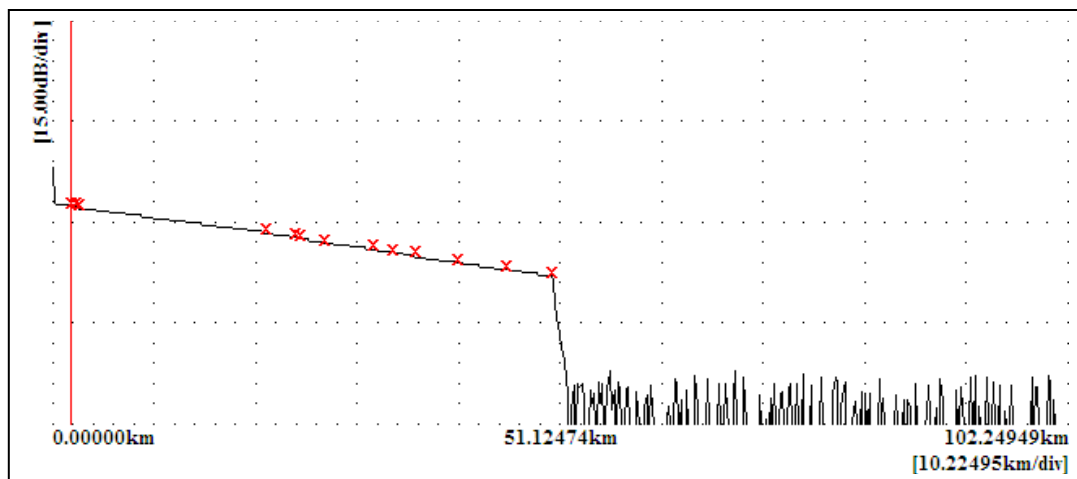
Sum of S.Loss(dB)		FO#			
Position(km) <sup>2</sup>	Position(km)	2	3	4	5
0.32718	0.32718			-0.21	
0.34762	0.34762	-0.12			
2.781	2.781		-0.21	0.11	0.03
2.92414	2.92414				<b>0.18</b>
3.74208	3.74208		<b>0.2</b>	0.04	
6.1686		0.08	<b>0.49</b>	<b>2.39</b>	<b>0.31</b>
6.62532	6.62532	0.05		0.08	
9.50855	9.50855	0.09		0.02	
9.73349	9.73349	<b>0.24</b>		0.1	
9.81528	9.81528				0.04
11.8806		0.16	-0.05	-0.09	0.07
13.2847		-0.07	0.05		0.12
13.4688		<b>0.2</b>		<b>0.63</b>	0.07
13.76184	13.76184				0.03
17.0745	17.0745	-0.06		0.15	
17.38123	17.38123	0.08	<b>0.18</b>	0.05	
19.6101		0.07	0.02		0.03
22.18663	22.18663	0.09			
22.20708	22.20708		<b>0.22</b>		
27.33965	27.33965		-0.06		
28.7506		0.11	0.15	0.08	
32.39043	32.39043	0.07	0.07	0.1	
32.43133	32.43133				0.06
32.77895	32.77895		-0.03		
37.58435	37.58435	0	0		
37.6048	37.6048			0	
40.11996	40.11996				0.1
50.56915	50.56915				0.09
52.85938	52.85938				0.02
54.92468	54.92468				0
Grand Total		<b>0.99</b>	<b>1.03</b>	<b>3.45</b>	<b>1.15</b>

### 4.4.3. Resultados obtenidos al aplicar el procedimiento

Como resultado de aplicar el procedimiento elaborado en este mismo trabajo de graduación, se obtiene una mejora sustancial en el cable instalado en el tramo tomado como muestra.

En las gráficas y tablas que a continuación se presentan, se puede observar la mejora obtenida en la continuidad de los hilos y en la reducción de las pérdidas individuales por evento y por consiguiente las pérdidas totales.

**Figura 26. Gráfica de medición de fibra óptica uno, después de aplicado el procedimiento.**

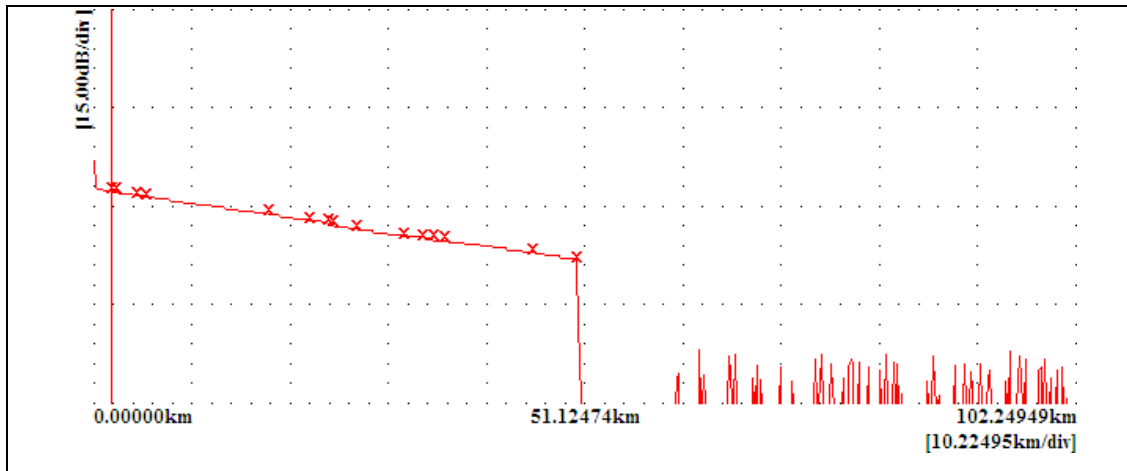


**Tabla VIII. Eventos resultantes de la medición de la fibra óptica uno, después de aplicado el procedimiento.**

No.	Position(km)	S.Loss(dB)	R.Loss(dB)	dB/km	Custom	Spl.Error[dB]
01	1.82004	0.087	**.*	0.195	0.356	+/- 0.005
02	2.47444	0.111	**.*	0.204	0.573	+/- 0.004
03	2.71984	-0.074	**.*	0.122	0.700	+/- 0.004
04	21.55419	0.141	**.*	0.194	4.299	+/- 0.004
05	24.45808	0.094	**.*	0.200	5.015	+/- 0.003
06	24.84663	0.090	**.*	0.211	5.178	+/- 0.002
07	27.38241	0.127	**.*	0.194	5.748	+/- 0.003
08	32.39264	0.092	**.*	0.189	6.818	+/- 0.002
09	34.43763	0.096	**.*	0.186	7.282	+/-0.000
10	36.52352	0.163	**.*	0.210	7.806	+/-0.000
11	40.79755	0.132	**.*	0.194	8.791	+/- 0.001
12	45.80777	0.070	**.*	0.191	9.882	+/- 0.001
13	50.30675	END	16.502	0.187	10.795	**.*

Como se podrá observar, el hilo número uno sufrió un aumento en la pérdida de 9.318 dB a 10.795 dB, esto es de esperarse, debido a que aumentó la distancia de 37.58 a 50.3 Km. Y como se recordará el cable de fibra presenta atenuación que le es inherente, por lo tanto, a mayor longitud de cable mayor es la pérdida total (Ver sección 4.3.1 Pérdidas inherentes a la fibra) Sin embargo, las pérdidas por kilómetro del hilo de fibra se ven reducidas en mayor medida y por lo tanto, se obtiene una menor pérdida total.

**Figura 27. Gráfica de medición de fibra óptica dos, después de aplicado el procedimiento.**

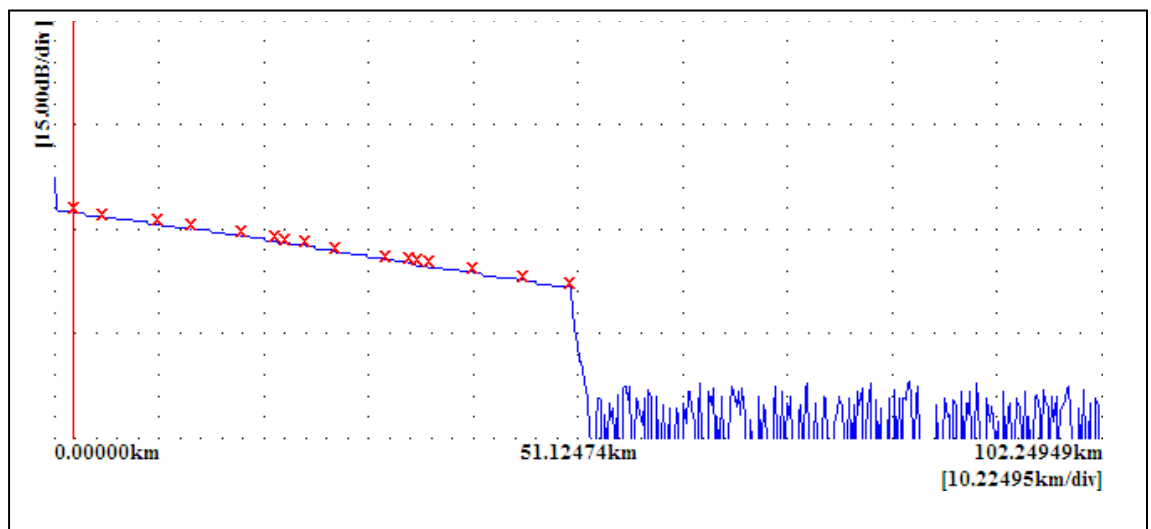


**Tabla IX. Eventos resultantes de la medición de la fibra óptica dos, después de aplicado el procedimiento.**

No.	Position(km)	S.Loss(dB)	R.Loss(dB)	dB/km	Custom	Spl.Error[dB]
01	1.84049	-0.065	** ***	0.256	0.472	+/- 0.005
02	2.45399	0.069	** ***	0.197	0.532	+/- 0.004
03	4.45808	0.073	** ***	0.204	0.985	+/- 0.005
04	5.60327	0.120	** ***	0.178	1.268	+/- 0.004
05	18.15951	0.093	** ***	0.199	3.866	+/- 0.004
06	22.51534	0.100	** ***	0.196	4.805	+/- 0.003
07	24.45808	0.134	** ***	0.211	5.300	+/- 0.003
08	24.84663	0.163	** ***	0.249	5.526	+/- 0.003
09	27.34151	0.111	** ***	0.191	6.153	+/- 0.003
10	32.39264	-0.073	** ***	0.187	7.204	+/- 0.001
11	34.43763	0.054	** ***	0.186	7.515	+/-0.000
12	35.27607	0.122	** ***	0.197	7.733	+/-0.000
13	36.54397	-0.086	** ***	0.179	8.078	+/- 0.001
14	45.80777	0.163	** ***	0.193	9.800	+/- 0.002
15	50.30675	END	(35.688)	0.189	10.825	** ***

Al igual que la fibra número uno, la fibra número dos también presentaba discontinuidad en su trayecto, por lo que al darle continuidad se aumentó la pérdida por distancia, pero se redujeron todas las otras pérdidas. Mejorando su pérdida total.

**Figura 28. Gráfica de medición de fibra óptica tres, después de aplicado el procedimiento.**

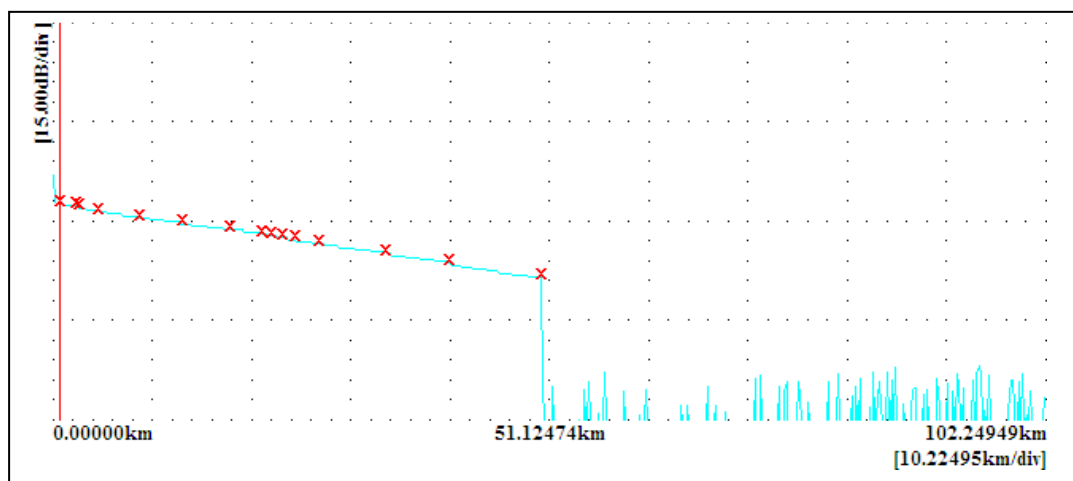


**Tabla X. Eventos resultantes de la medición de la fibra óptica tres, después de aplicado el procedimiento.**

No.	Position(km)	S.Loss(dB)	R.Loss(dB)	dB/km	Custom	Spl.Error[dB]
01	1.84049	0.111	**.***	0.191	0.352	+/- 0.004
02	4.68303	0.068	**.***	0.169	0.970	+/- 0.004
03	10.08180	0.080	**.***	0.190	2.054	+/- 0.001
04	13.29243	-0.052	**.***	0.196	2.759	+/- 0.002
05	18.15951	0.166	**.***	0.183	3.624	+/- 0.003
06	21.53374	0.061	**.***	0.202	4.455	+/- 0.005
07	22.51534	0.064	**.***	0.196	4.700	+/- 0.005
08	24.43763	0.104	**.***	0.198	5.158	+/- 0.003
09	27.36196	0.159	**.***	0.197	5.816	+/- 0.003
10	32.39264	0.100	**.***	0.193	7.010	+/- 0.002
11	34.45808	0.078	**.***	0.190	7.495	+/-0.000
12	35.29652	0.153	**.***	0.195	7.729	+/- 0.001
13	36.52352	0.064	**.***	0.206	8.138	+/- 0.001
14	40.79755	0.154	**.***	0.186	8.996	+/- 0.001
15	45.84867	0.156	**.***	0.195	10.142	+/- 0.002
16	50.30675	END	(27.066)	0.191	11.158	**.***

La fibra número tres no concluía su trayectoria de un nodo a otro por estar interrumpida por un corte entre estos puntos, adicionalmente, debido a varias reparaciones realizadas sobre el cable, contenía muchas pérdidas que limitaban el uso de este hilo de fibra. Luego de aplicado el procedimiento descrito, se logró su mejoramiento.

**Figura 29. Gráfica de medición de fibra óptica cuatro, después de aplicado el procedimiento.**

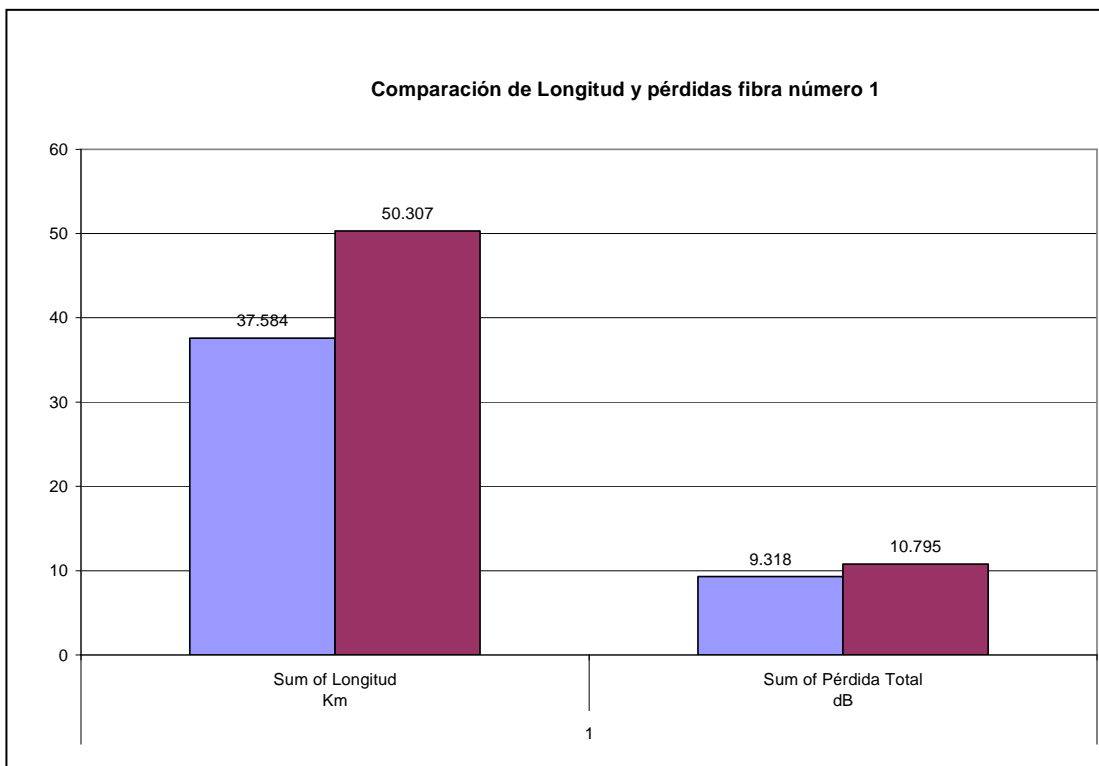


**Tabla XI. Eventos resultantes de la medición de la fibra óptica cuatro, después de aplicado el procedimiento.**

No.	Position(km)	S.Loss(dB)	R.Loss(dB)	dB/km	Custom	Spl.Error[dB]
01	0.85890	-0.055	**.*	0.409	0.352	+/- 0.005
02	2.45399	0.067	**.*	0.193	0.614	+/- 0.006
03	2.69939	0.103	**.*	0.378	0.766	+/- 0.004
04	4.74438	0.090	**.*	0.256	1.372	+/- 0.004
05	8.99796	0.075	**.*	0.193	2.251	+/- 0.003
06	13.27198	0.074	**.*	0.189	3.127	+/- 0.003
07	18.15951	-0.087	**.*	0.183	4.094	+/- 0.004
08	21.55419	0.127	**.*	0.194	4.678	+/- 0.004
09	22.53579	0.080	**.*	0.232	5.027	+/- 0.002
10	23.74233	0.059	**.*	0.188	5.324	+/- 0.003
11	24.84663	0.130	**.*	0.233	5.629	+/- 0.003
12	27.34151	0.075	**.*	0.185	6.214	+/- 0.003
13	34.43763	0.155	**.*	0.187	7.613	+/- 0.001
14	40.81800	0.167	**.*	0.213	9.157	+/- 0.001
15	50.30675	END	(43.970)	0.214	11.447	**.*

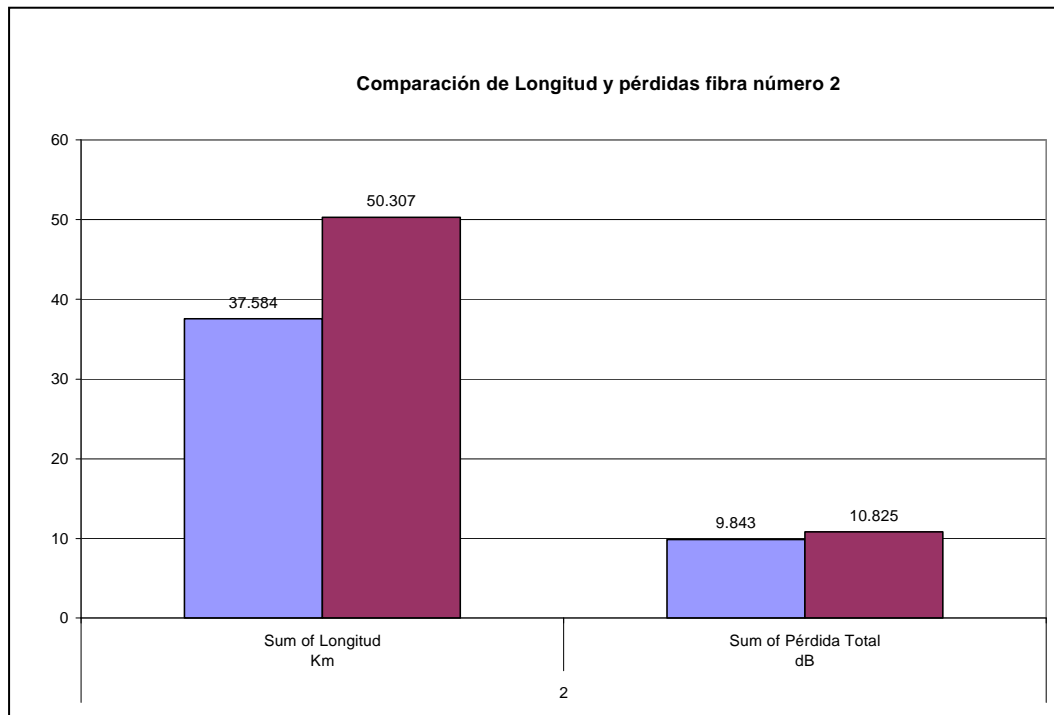
A continuación se presentan gráficos comparativos, para visualizar de mejor forma, el estado de los hilos antes y después de aplicado el procedimiento.

**Figura 30. Gráfica de comparación del hilo de fibra número uno, antes de aplicar el procedimiento y el hilo de fibra número uno, después de aplicado el procedimiento.**

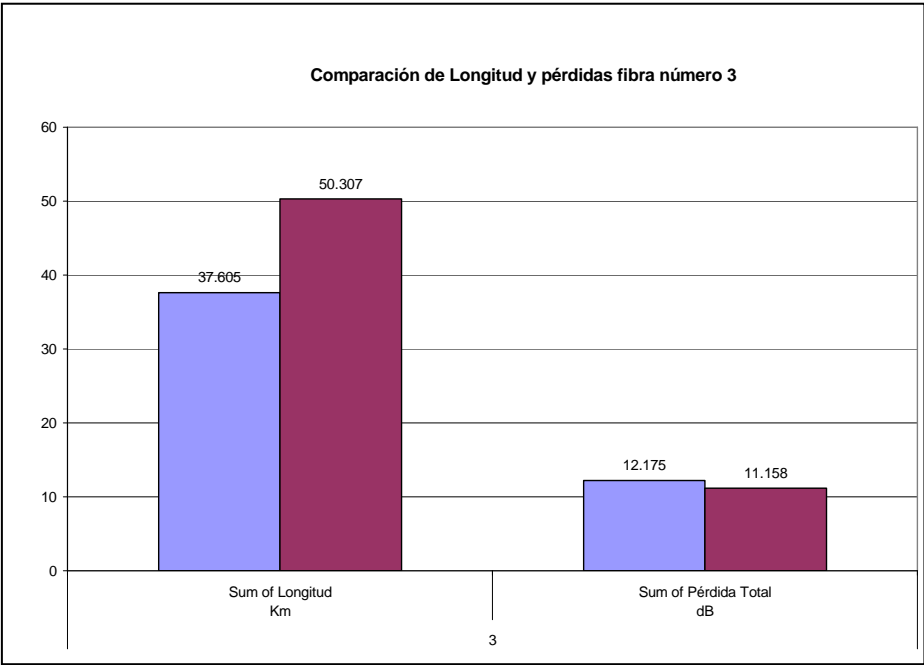




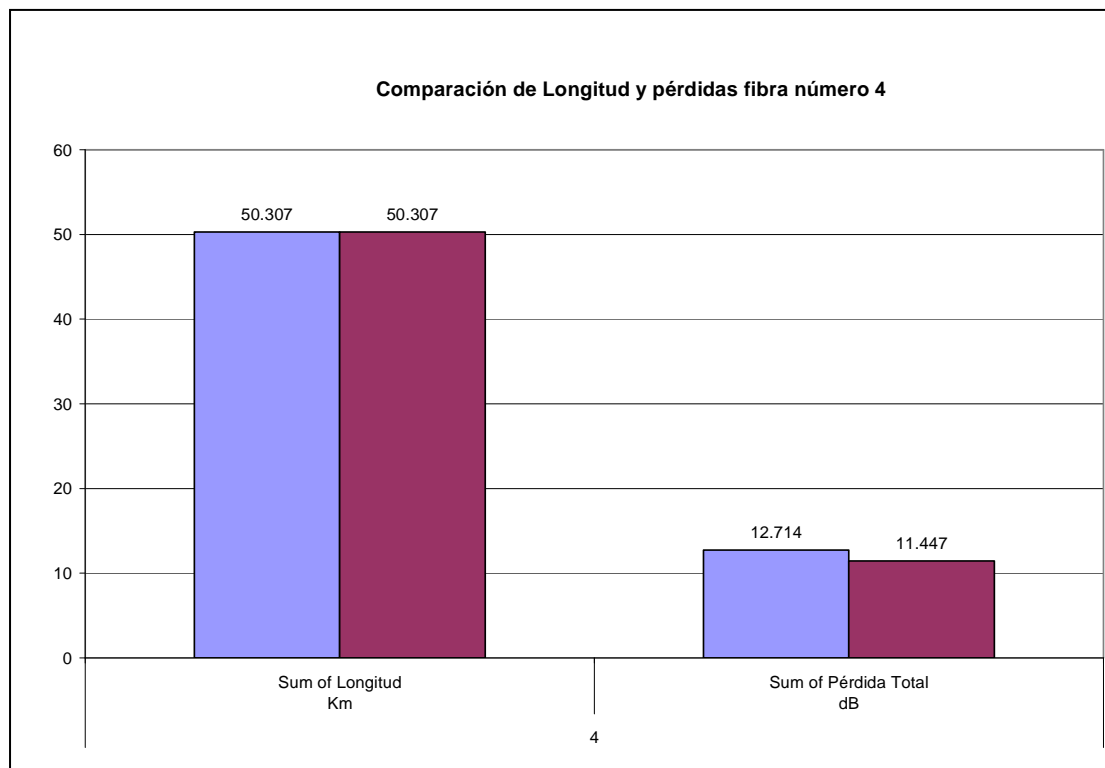
**Figura 31. Gráfica de comparación del hilo de fibra número dos, antes de aplicar el procedimiento y el hilo de fibra número dos, después de aplicado el procedimiento.**



**Figura 32. Gráfica de comparación del hilo de fibra número tres, antes de aplicar el procedimiento y el hilo de fibra número tres, después de aplicado el procedimiento.**



**Figura 33. Gráfica de comparación del hilo de fibra número cuatro, antes de aplicar el procedimiento y el hilo de fibra número cuatro, después de aplicado el procedimiento.**



Como se puede observar, al aplicar el procedimiento se obtuvo una reducción de las pérdidas y con esto se mejora la calidad del enlace y se garantiza el funcionamiento de la SDH de nueva generación, ya que las pérdidas se mantienen por debajo del umbral según los datos de potencia extraídos de las hojas de especificaciones de los equipos.

Las nuevas tecnologías en telecomunicaciones están orientadas a la transmisión de datos sobre IP, por lo que es necesario comenzar a migrar hacia esta tecnología sin descuidar la actual. Implementar la Nueva Generación de SDH es el primer paso que permite la convivencia de las dos tecnologías en un mismo equipo de transmisión logrando así la optimización de los recursos de las empresas de telecomunicaciones. Originándose de este punto, la importancia de la adecuación de las redes de fibra óptica de las empresas para lograr el mejor desempeño de la SDH de Nueva Generación.

Con lo expuesto en este trabajo de graduación, se considera haber demostrado que el procedimiento expuesto, cumple con los requerimientos que exige la SDH de Nueva Generación. No obstante, debe considerarse que en un futuro próximo se deberán explotar más las bondades del cable de fibra óptica, al utilizar equipos que majen diferentes longitudes de onda para diferentes transmisiones sobre un mismo hilo de fibra, con lo que las exigencias sobre las pérdidas serán mayores.

## **CONCLUSIONES**

1. El tiempo de la migración entre SDH tradicional a la SDH de nueva Generación, depende en gran parte del estado de la red de fibra sobre la cual se esté trabajando.
2. La implementación de SDH de nueva generación, en una empresa de telecomunicaciones, será rentable si la mayoría de enlaces que ésta maneja son de tráfico SDH.
3. SDH de nueva generación, evita que empresas en telecomunicaciones que tienen su transporte basado en SDH, se queden obsoletas con los nuevos servicios.
4. La optimización de una red de fibra se consigue definiendo procedimientos para su mantenimiento y aplicando los mismos.
5. Los equipos SDH de nueva generación, son una solución práctica para mejorar el manejo de ancho de banda de una red SDH tradicional.
6. La implementación de una red SDH de nueva generación, ayuda a implementar nuevas tecnologías, conservando la infraestructura anterior de la red, reflejándose en un ahorro significativo para la empresa.



## **RECOMENDACIONES**

1. Definir, crear e implementar trabajos de mantenimiento preventivo, con el fin de mantener los parámetros de las redes de fibra óptica dentro de los márgenes de operación de una red SDH de nueva generación.
2. Implementar procesos de instalación y habilitación de hilos de fibra, para que todos los trabajos que se realicen en la red, queden con la calidad que se requiera según las especificaciones de la empresa.
3. Cuando se movilice una empalmadora por fusión, entre diferentes climas y temperaturas, es necesario se realice una calibración del arco eléctrico para minimizar las pérdidas en los empalmes.
4. Al momento de diseñar ampliaciones de la red, se deben considerar nuevas tecnologías como WDM y DWDM, para la optimización del transporte dentro de los hilos de fibra.





## BIBLIOGRAFÍA

1. Chomycz, Bob. **Instalaciones de Fibra Óptica**. 1ª ed.; McGraw Hill, España. 1,996.
2. Couch II, Leon W. **Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos**. 5ª ed.; Prentice Hall. México. 1,998.
3. Dordoigne, José y Philippe Atelin. **Redes informáticas, conceptos fundamentales**. 1ª ed.; Barcelona; ENI. 2,006.
4. **Las telecomunicaciones de nueva generación**. Informe Telefónica I+D. Lerko Prit S.A.
5. **Manual de operación. Arc Fusion Splicer**. Fujikura FSM – 50 S Series.
6. **Manual de operación. Optical Time Domain Reflectometer**. Anritsu MW9076 Series. 13ª ed.; Japon: se, 2004.
7. **Manual de documentación técnica serie 6350**. Tellabs Serie 6300. Revisión C3, 2004.
8. Martínez, Evelio. **Redes de alta velocidad SDH/SONET**. [http://www.eveliux.com/mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=24&Itemid=26](http://www.eveliux.com/mx/index.php?option=com_content&task=view&id=24&Itemid=26) (Noviembre 2007).